



**André Santos Ferreira
Pinto**

**Caracterização Geológica e Geofísica da Área do
Porto da Figueira da Foz**

**Geological and Geophysical characterization of the
Figueira da Foz Harbor region**



**André Santos Ferreira
Pinto**

**Caracterização Geológica e Geofísica da Área do
Porto da Figueira da Foz**

**Geological and Geophysical characterization of the
Figueira da Foz Harbor region**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ciências do Mar e das Zonas Costeiras, realizada sob a orientação científica do Doutor Luís Filipe Fuentefria Menezes Pinheiro, Professor Associado do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.

o júri

Presidente

Doutora Filomena Maria Cardoso Pedrosa Ferreira Martins

Professora Associada do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Arguente

Doutor Paulo Manuel Cruz Alves da Silva

Professor Auxiliar do Departamento de Física da Universidade de Aveiro

Orientador

Doutor Luís Filipe Fuentefria Menezes Pinheiro

Professor Associado do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

O presente trabalho não seria de todo possível sem o apoio e dedicação do orientador científico desta dissertação, Prof. Luís Menezes Pinheiro. Estou muito grato por todos os seus ensinamentos não apenas a nível científico, mas também para a vida. Deixo um agradecimento especial por me ter cativado para o campo da geofísica marinha. Um agradecimento pelas experiências enriquecedoras e pelas participações em cruzeiros de investigação científica.

Um agradecimento muito especial ao Dr Vitor Magalhães do IPMA pela preciosa ajuda no planeamento e execução das campanhas realizadas para a aquisição dos dados utilizados na realização deste trabalho.

Quero deixar um profundo agradecimento ao LGGM. Agradeço à Caroline Lavoie pelos conselhos que foram uma grande ajuda na realização deste trabalho. À Clara Sena pela paciência e resposta às inúmeras dúvidas que lhe apresentei. Ao Omar Benezouze pelos conhecimentos que me transmitiu e pela sua sempre boa disposição. Ao Ricardo Correia pela disponibilidade constante. Agradeço também ao mais recente membro Laurício Terra pela sua ajuda na logística da segunda campanha realizada no âmbito deste trabalho.

À Administração do Porto de Aveiro e do Porto da Figueira da Foz e, em particular à Engenheira Carla Garrido agradeço a cedência de dados utilizados no âmbito deste trabalho. Ao Comandante S. Marcos, Comandante Sottomayor, Sr Licínio e Sr Roque pelo tempo despendido na preparação e execução das campanhas geofísicas cujos dados foram utilizados na elaboração deste trabalho. Aos tripulantes das embarcações *Medroa* e *Ecoalgaventura*, o Sr Tavares, Sr Jacinto, Sr Silva e ao Sr Rendeiro agradeço a sua disponibilidade para realizar estas campanhas.

Não podia deixar de expressar o meu sincero e profundo agradecimento ao Américo Ribeiro não só pela sua ajuda durante este período, mas também pela sua preciosa amizade e pela partilha desta grande aventura que foram estes últimos anos.

Agradeço também aos meus pais todo o apoio incondicional que sempre me deram ao longo destes anos.

Por último mas de modo algum menos importante, um agradecimento muito especial à Helena, não só por toda a ajuda, apoio e encorajamento durante a realização deste trabalho, mas também por todos os bons momentos que partilhamos nestes últimos anos.

palavras-chave

Sonar de varrimento lateral; perfilador de fundo; classificação de fundo; dinâmica sedimentar; Chirp sonar; perfil sísmico.

resumo

No âmbito de um projeto realizado para a Administração Portuária do Porto da Figueira da Foz, foram recolhidos dados geofísicos no *offshore* da costa da Figueira da Foz, utilizando um sistema combinado de sonar de varrimento lateral e de sísmica de alta resolução com o objetivo de compreender a distribuição de sedimentos ao longo do fundo marinho e assim entender melhor a sua origem. Os dados de varrimento lateral foram processados, analisados e representados em mosaicos recorrendo ao *software* integrado *TRINTON Perspective*. Foram colhidas 10 amostras de sedimentos de fundo que foram analisadas do ponto de vista granulométrico e que foram usadas para a calibração dos mosaicos do sonar de varrimento lateral de modo a produzir um mapa semi-quantitativo de classificação dos sedimentos de fundo. Os dados de reflexão sísmica foram processados e analisados através dos softwares *SPW* e *RadExPro*.

Os mapas de sonar de varrimento lateral produzidos (mosaicos) mostram uma relação entre o tamanho de grão e composição dos depósitos de plataforma interna e os processos geológicos que ocorrem na zona costeira adjacente. Também se verifica uma relação entre a orientação da costa e a sua consequente exposição às ondas incidentes, e como isso afeta e altera a distribuição do tamanho grão.

Neste contexto, a interpretação combinada dos mosaicos do sonar de varrimento lateral com os dados de granulometria e a batimetria dos sedimentos permitiram uma cartografia interpretativa detalhada da morfologia do mar, uma melhor compreensão do controlo da linha costeira na propagação das ondas e correntes e, por conseguinte, na transferência de sedimento no litoral. Os dados de sísmica permitem ainda verificar a espessura das várias camadas geológicas em profundidade.

keywords

Sidescan sonar; sub-bottom profiling; seabed classification; sedimentary dynamics; CHIRP Sonar; Seismic Profile.

abstract

In the scope of a project done for the Harbor Administration of the Figueira da Foz harbor, geophysical data was acquired offshore the coast of Figueira da Foz, using a combined sidescan and sub-bottom profiling system with the aim to image the sediment distribution across the sea floor to better understand their origin. The sidescan sonar data was processed, analyzed and mosaiced using the integrated TRITON Perspective software. It was conducted grain size analyzes in ten seabed sediment grab samples that were used to ground-truth the sidescan mosaics and produce a semi-quantitative seabed classification map. The sub-bottom profiling data were processed and analyzed using the SPW and RadExPro softwares.

The resulted sidescan maps (mosaics) show a close relationship between the grain-size and composition of inner shelf deposits and geological processes occurring in the adjacent coastal area. Also is verified a relation between the orientation of the coast and its consequent exposure to the incident wave, and how this affects and alters the grain size distribution.

In this context, combined interpretation of the sidescan sonar mosaics with the sediment granulometry and bathymetry data allow a detailed interpretative cartography of the sea morphology, a better understanding of the morphological coastline control on waves and currents propagation and therefore on sediment transference between littoral binds. The seismic data allows the verification of the thickness of the different sediment layers.

Conteúdos

Agradecimentos	v
Resumo	vii
Abstract	ix
Conteúdos.....	xi
Lista de Figuras	xiii
I. Introdução	1
I.1. Natureza e âmbito deste trabalho	1
I.2. Objetivos	1
I.3. Localização da área de estudo	2
I.4. Dados utilizados	2
I.5. Metodologia	3
I.6. Estrutura da dissertação	3
II. Enquadramento Geológico, Oceanográfico e Climático da Área de Estudo.....	5
II.1. Enquadramento Geodinâmico da Margem Portuguesa	5
II.2. Enquadramento Geográfico e Geológico	5
II.3. Dinâmica Costeira	9
II.3.1. Marés	10
II.3.1.1. Agitação Marítima	10
II.3.1.2. Correntes e Deriva Litoral	12
II.4. Enquadramento Climático	12
II.4.1. Regime do Vento	13
III. Reflexão Sísmica de Alta Resolução e Sonar de Varrimento Lateral	15
III.1. Reflexão Sísmica	15
III.1.1. Fundamentos sobre Propagação de Ondas e Reflexão Sísmica	15
III.1.2. Natureza dos Traços Sísmicos	18
III.1.3. Aquisição de Reflexão Sísmica de Alta Resolução em meio aquático	20
III.2. Sonar de Varrimento Lateral	22
IV. Aquisição e Processamento dos dados Geofísicos e Análise Granulométrica dos Sedimentos de fundo	29
IV.1. Levantamentos Geofísicos e Geológicos	29
IV.1.1. Preparação e Planeamento dos levantamentos Geofísicos e Geológicos	29
IV.1.2. Levantamento Geofísico e Geológico FFOZ_2014 e FFOZ_2015	30
IV.1.2.1. Levantamento FFOZ_2014	32

xiii| Conteúdos

IV.1.2.2.	Levantamento FFOZ_2015	34
IV.2.	Processamento de Dados de Sonar de Varrimento Lateral	36
IV.3.	Processamento de Dados de Reflexão Sísmica (<i>Chirp</i> Sonar)	45
IV.4.	Análise Granulométrica dos Sedimentos amostrados	67
V.	Interpretação dos Mosaicos de Sonar de Varrimento Lateral e dos Perfis de <i>Chirp</i> Sonar	71
V.1.	Interpretação dos dados de Sonar de Varrimento Lateral	71
V.1.1.	Mosaico do levantamento geofísico FFOZ_2014 e calibração com amostragem de sedimentos de fundo	71
V.1.2.	Mosaico do levantamento geofísico FFOZ_2015	79
V.2.	Interpretação dos perfis de <i>Chirp</i> Sonar	86
VI.	Conclusões	97
	Bibliografia	99
	Anexos	105

Lista de Figuras

Figura I.1: Localização da área de estudo.	2
Figura II.1: Enquadramento geográfico e estrutural simplificado da Bacia Lusitânica e de outras bacias da Margem Ocidental Ibérica (Rocha e Soares, 1984).	6
Figura II.2: Esquema representativo da divisão da Bacia Lusitaniana em três sectores, (adaptado de Kullberg, 2006).	7
Figura II.3: Localização da Área de Estudo.	8
Figura II.4: Parte da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000 (Folha 19-C) compreendendo a zona de trabalho (adaptado de Rocha et al., 1981).	9
Figura II.5: Distribuição do período das ondas, por meses do ano, em Leixões e Figueira da Foz, entre 1990 e 2003 (APA 2015).	11
Figura II.6: Percentagem da frequência média mensal dos regimes de circulação para cada mês do ano (Trigo e DaCâmara, 2000).	14
Figura III.1: Modelo simplista, sem conversão de modos, da reflexão e refração de uma onda sísmica quando atinge uma interface entre dois meios com propriedades físicas distintas. V_i representa a velocidade da onda e ρ_i representa a densidade do meio.	16
Figura III.2: Representação esquemática da Zona de <i>Fresnel</i> . A energia chega aos recetores vinda de todos os pontos do refletor “iluminados” pela frente de onda. A parte do refletor onde a energia é refletida com comprimento de onda, que vai até metade do comprimento de onda inicial é denominada Zona de <i>Fresnel</i> .	17
Figura III.3: Traço sísmico visto como uma convolução entre uma função de reflectividade e uma onda fonte (modificado de Kearey e Brooks 1991).	18
Figura III.4: Trajetória dos raios de algumas famílias de múltiplos complexos; a) múltiplo de pequena distância; b) e c) múltiplos de longa distância (modificado de (Hatton <i>et al.</i> , 1986).	19
Figura III.5: Modelo de representação de vários sistemas de aquisição sísmica de águas pouco profundas (OzCoasts, 2013).	21
Figura III.6: Comparação entre pulso de sísmica convencional (direita) e um pulso do <i>CHIRP</i> (esquerda) (Shock e Leblanc, 1990).	21
Figura III.7: Os principais tipos de sistemas sonar (da esquerda para a direita) sonda de um feixe, sonda multifeixe e sonar de varrimento (UGS, 2014).	22
Figura III.8: Geometria típica de pulso de Sonar de Varrimento Lateral e área que representa a intersecção do pulso com o fundo marinho (OIC, 2013).	23
Figura III. 9: Diagrama com o comportamento de um pulso acústico quando interage com o fundo marinho. A energia refletida é uma combinação de energia difratada ou retrodispersada (A) e reflexão especular (B). (Imagem adaptada de Johnson e Helferty, 1990).	24
Figura III.10: Reflexão (seta a preto) e retrodispersão ou backscatter (setas cinza) nos sedimentos do fundo, do sinal acustico emitido pelo sonar (adaptado de Mazel, 1985).	24
Figura III.11: Principais fatores do fundo marinho que influenciam a reflexão (mancha cinzenta clara). Fundos com inclinação em direção ao sonar produzem mais <i>backscatter</i> que fundos com inclinação oposta à localização do sonar (imagem do topo). Superfícies suaves têm tendência a criar um efeito especular, diminuindo assim o <i>backscatter</i> recebido comparado com superfícies mais acidentadas (imagem do meio). Contraste da penetração em função da geologia de fundo (imagem de baixo) (adaptado de Blondel, 2009).	25
Figura III.12: Diagrama que ilustra a formação das zonas de sombra (Pinheiro et al., 2011).	25
Figura III.13: A esquerda está representado um diagrama que apresenta o processo de formação de uma imagem de sonar de varrimento lateral. No topo do diagrama vemos o pulso acústico que reflecte no fundo marinho, depois temos a representação da variação da energia acústica e por último temos a conversão do sinal para valores de pixéis que estão representados a preto. (adaptada de Johnson e Helferty, 1990). À direita está um exemplo de uma imagem típica de Sonar de Varrimento Lateral, sem qualquer tipo de processamento.	26
Figura III.14: - Resolução do Sonar de Varrimento Lateral na direção paralela ao movimento deste. A expansão da largura do raio à medida que se afasta do sonar provoca alterações na pegada, e a mudança de dimensão resulta numa diminuição da resolução (Henriques <i>et al.</i> , 2012).	27

Figura III.15: Resolução perpendicular ao movimento do Sonar de Varrimento Lateral, depende do ângulo β e do comprimento do pulso. (Henriques <i>et al.</i> , 2012).	27
Figura III.16: Configuração do funcionamento de Sonar de Varrimento Lateral estando este a reboque do navio (Henriques <i>et al.</i> , 2012).	28
Figura III.17: - Esquema de cobertura total com sobreposição de varrimento (Henriques <i>et al.</i> , 2012).	28
Figure IV.1: Levantamento batimétrico da zona de estudo realizado em dezembro de 2013 e sua respectiva escala.	30
Figure IV.2: Linhas planeadas recorrendo ao software ArcGis para o levantamento FFOZ_2014.	30
Figure IV.3: Sistema integrado Edgetech 512i, da Universidade de Aveiro, que combina um sonar de varrimento lateral de dupla frequência (100 e 400kHz), com um sistema de reflexão sísmica Chirp Sonar (0.5 e 12kHz).	31
Figura IV.4: <i>Software</i> ArcPad com o planeamento do levantamento geofísico FFOZ_2015 que foi usado a bordo da embarcação durante este.	32
Figura IV.5: a) Embarcação Medroa da Administração do Porto da Figueira da Foz a bordo do qual foi efetuado o levantamento geofísico FFOZ_2014; b) representação esquemática da geometria de aquisição dos dados geofísicos do levantamento geofísico FFOZ_2014.	33
Figura IV.6: Campanha geofísica e de amostragem de sedimentos realizada na área do Porto da Figueira da Foz, nos dias 9 e 10 de Dezembro de 2014. A verde estão representadas as linhas de sonar de varrimento lateral e de reflexão sísmica de alta resolução realizadas no offshore; a laranja as linhas adquiridas na zona portuária. Os pontos coloridos indicam os locais de amostragem e o tipo de sedimentos recolhidos.	33
Figura IV.7: a) Embarcação Ecoalgaventura a bordo do qual foi efetuado o levantamento geofísico FFOZ_2015; b) representação esquemática da geometria de aquisição dos dados geofísicos do levantamento geofísico FFOZ_2015.	34
Figura IV.8: Campanha geofísica e de amostragem de sedimentos realizada na área do Porto da Figueira da Foz, nos dias 18, 19 e 20 de setembro de 2015. A amarelo estão representadas as linhas de sonar de varrimento lateral e de reflexão sísmica de alta resolução realizadas no offshore. Os pontos vermelhos indicam os locais de amostragem.	35
Figura IV.9: As variações de atitude do sonar. (1) <i>heave</i> (movimento vertical devido à ação da ondulação); (2) <i>roll</i> (movimento estibordo-bombordo); (3) <i>pitch</i> (cabeceamento) e (4) <i>yaw</i> ou <i>heading</i> (movimento em torno do eixo <i>zz</i>) (adaptado de Blondel, 2009).	36
Figura IV.10: Distorção provocada pela distância oblíqua (<i>slant-range</i>) (adaptado de Blondel, 2009).	37
Figura IV.11: O princípio do TVG demonstrado numa série de alvos idênticos mas a distâncias diferentes do sonar. a) Geometria real dos alvos; b) A diminuição do <i>backscatter</i> devido à absorção de energia e ao aumento da distância horizontal entre os diferentes pontos e o sonar; c) Função de ganho TVG necessária aplicar de modo a contrariar a função de perda de energia; d) Sinal resultante da aplicação do TVG que apresenta um <i>backscatter</i> idêntico entre todos os alvos tal como as suas propriedades reais (adaptado de Blondel, 2009).	38
Figura IV.12: Plataforma de trabalho do <i>software Triton Perspective</i> .	39
Figura IV.13: Valores utilizados na correção da navegação das linhas da campanha FFOZ_2014.	39
Figura IV.14: a) Navegação da linha NS_45 antes da correção; b) Navegação da linha NS_45 após a correção da navegação. Parece ter sido demasiado corrigido.	40
Figura IV.15: Exemplo do modo de visualização <i>waterfall</i> no <i>software Triton Perspective</i> . A linha a vermelho representa o <i>bottom tracking</i> realizado (Figura IV.8).	41
Figura IV.16: - Exemplo de um <i>bottom tracking</i> realizado.	41
Figura IV.17: Visualização no modo <i>Waterfall</i> da linha SN_18 a) antes da correção do <i>slant range</i> b) após a correção do <i>slant range</i> .	42
Figura IV.18: Curva TVG aplicada para a construção do mosaico da campanha FFOZ_2014.	43
Figura IV.19: Comparação entre a) antes da aplicação do ajuste TVG e b) após a aplicação do ajuste TVG. Sinalizado pelas setas está um exemplo das alterações provocadas por este ajuste.	43
Figura IV.20: Diferentes passos na criação do mosaico no <i>software Triton Perspective</i> .	44
Figura IV.21: Mosaicos de sonar de varrimento lateral obtidos após o processamento realizado. À esquerda o mosaico do levantamento FFOZ_2014 e à direita o mosaico do levantamento FFOZ_2015.	45
Figura IV.22: Árvore de trabalho do projeto FFOZ_2014 contendo a área, linhas e fluxos.	47
Figura IV.23: Plataforma do <i>software JSF to SEG Y Converter</i> .	49

Figura IV.24: a) Exemplo de um fluxo completo; b) aspeto da janela do fluxo 01_Input; c) janela correspondente ao passo <i>Trace Input</i> onde se pode ver os traços selecionados para serem representados; d) janela do <i>Screen Display</i> onde se pode seleccionar os parâmetros de visualização da linha.	50
Figura IV.25: . Janela de visualização dos dados da linha NS09a em modo de densidade variável, em escala de cinzentos e com um ganho de 0.3 dB.	51
Figura IV.26: a) Aspecto da janela do fluxo 02_First_Picking; b) Janela do módulo <i>Trace Header Math</i> e c) Janela do módulo <i>First Breaks Picking</i> .	52
Figura IV.27: <i>First Breaks Picks</i> de uma porção da Linha NS_09a: a vermelho as <i>picks</i> realizadas automaticamente e a verde as <i>picks</i> corrigidas manualmente.	54
Figura IV.28: Filtro passa bandas com o tipo de filtro (<i>Ormsby</i>) e os valores utilizados.	55
Figura IV.29: Espectro de frequências da linha EW_8; a) espectro antes da aplicação do filtro passa bandas e b) espectro depois de aplicado o filtro passa bandas.	55
Figura IV.30: - Parâmetros utilizados para o <i>pick</i> da interface sedimento coluna de água.	56
Figura IV.31: Aspeto da janela do fluxo 03_Swell_Correction e as janelas correspondentes aos módulos aplicados.	57
Figura IV.32: Porção da linha NS_21 a) após aplicação da primeira correção do <i>swell</i> ; b) após a segunda aplicação da correção de <i>swell</i> .	58
Figura IV.33: Representação gráfica do ciclo de maré para o dia 10 de dezembro de 2014.	59
Figura IV.34: a) Aspeto da janela do fluxo 04_Tide_Correction; b) janela do módulo <i>Trace Header</i>	60
Figura IV.35: Processo <i>Spherical Divergence Correction</i> .	61
Figura IV.36: Espectro de frequências da linha NS_09a e janela do filtro passa bandas aplicado. a) Espectro antes de filtragem; b) espectro após a filtragem e c) parâmetros utilizados na filtragem.	62
Figura IV.37: Módulo de Filtro espacial 2-D e os parâmetros aplicados para a linha NS_09a.	62
Figura IV.38: Módulo <i>Trace Editing</i> utilizado para o <i>mute</i> da coluna de água.	63
Figura IV.39: Módulo SEG-Y Output com os parâmetros utilizados para todas as linhas.	64
Figura IV.40: Fluxo de processamento com b) Correção de Amplitudes, c) Filtragem de frequências, d) Mute da coluna de água e) Filtragem espacial f) SEG-Y Output.	64
Figura IV.41: Perfil sísmico da linha NS_21 a) Linha sísmica sem processamento; b) Linha sísmica NS_21 após primeira atenuação do <i>swell</i> ; c) Linha sísmica NS_21 apos segunda atenuação do <i>swell</i> , pode-se ver as diferenças no refletor entre o sedimento e a coluna de água; d) Linha sísmica NS_21 após todo o processamento realiza.	65
Figura IV.42: Diagrama triangular obtida da análise sedimentar realizada nos sedimentos do levantamento FFOZ_2014.	67
Figura V.1: Mosaico de sonar de varrimento lateral e localização das amostras de sedimentos de fundo. As refletividades mais altas, associadas a sedimentos mais grosseiros, estão representadas a tons de cinzento claro; as refletividades mais baixas, associadas a sedimentos mais finos, estão representadas a tons de cinzento-escuro.	72
Figura V.2: - Interpretação sedimentar automática realizado no do mosaico de sonar de varrimento lateral <i>software Triton Perspective</i> .	73
Figura V.3: - Interpretação sedimentar manual do mosaico de sonar de varrimento lateral.	74
Figura V.4: Da esquerda para a direita: tipos de fluxos oscilatórios; regime de fluxo; configurações do fundo (<i>bedforms</i>) e estruturas sedimentares resultantes (Gonzales, 1984).	75
Figura V.5: Mosaico de sonar de varrimento lateral com a localização das Zonas A, B e C, ilustradas em detalhe nas Figuras V. 5, V. 6 e V. 7.	76
Figura V.6: Detalhe da zona B (localização Figura V. 4) no qual podem ser identificadas estruturas com <i>megaripples</i> de oscilação assimétrica bem definidos.	77
Figura V.7: Detalhe da zona C (localização Figura V.4) onde podem ser identificados padrões complexos de <i>megaripples</i> de estratificação cruzada.	78
Figura V.8: Detalhe da zona A, onde podem ser identificados <i>megaripples</i> de oscilação assimétrica e <i>megaripples</i> de estratificação cruzada (ver localização na Figura V. 5).	78
Figura V.9: Mosaico de sonar de varrimento lateral do levantamento FFOZ_2014 projetado sobre a batimetria de dezembro de 2013.	79
Figura V.10: Mosaico de sonar de varrimento lateral obtido no segundo levantamento geofísico, realizado na área do Porto da Figueira da Foz, nos dias 18-20 de setembro de 2015. As refletividades mais altas, associadas a sedimentos mais grosseiros, estão representadas a tons de	

cinzento claro; as refletividades mais baixas, associadas a sedimentos mais finos, estão representadas a tons de cinzento-escuro. A gama de valores entre extremos é muito semelhante à do 1º mosaico e foram usados valores absolutos para a escala de cores em ambos os casos, e não valores relativos.	80
Figura V.11: Comparação entre os mosaicos de sonar de varrimento lateral obtidos nos 2 levantamentos realizados. O primeiro levantamento, efetuado em dezembro de 2014 está representado à esquerda, o segundo levantamento, realizado em setembro de 2015 está representado à direita.	81
Figura V.12: Levantamento batimétricos realizados pela Universidade de Aveiro para a Administração do Porto da Figueira da Foz. À esquerda temos o levantamento batimétrico de 10 de fevereiro de 2015; à direita levantamento batimétrico de 2 de outubro de 2015 (APA 2015).	82
Figura V.13: Mosaico de sonar de varrimento lateral com a localização das Zonas A B e C, ilustradas em detalhe nas Figuras V. 14, V. 15 e V. 16).	83
Figura V.14: Detalhe da zona B (localização Figura V. 13) no qual podem ser identificadas estruturas com megaripples de oscilação assimétrica bem definidos.	83
Figura V.15: - Detalhe da zona C (localização Figura V. 13) onde podem ser identificados padrões de megaripples de oscilação assimétrica.	84
Figura V.16: Detalhe da zona A (localização Figura V. 13) onde não se observa qualquer tipo de estruturas sedimentar.	84
Figura V.17: Mosaico de sonar de varrimento lateral do levantamento FFOZ_2015 projetado sobre a batimetria de 2 de outubro de 2015	85
Figura V.18: Localização das linhas sísmicas adquiridas nas 2 campanhas geofísicas referidas neste trabalho. A vermelho estão representadas os perfis sísmicos que foram interpretados.	87
Figura V.19: Perfil de reflexão sísmica EW_09 situado na zona sul da área de estudo. O perfil está representado de Oeste para Este. Para ver a sua localização consultar Figura V. 18. A escala vertical corresponde ao tempo de ida e volta (TWT) em milissegundos.	89
Figura V.20: Perfil de reflexão sísmica EW_09 situado na zona sul da área de estudo. O perfil está representado de Oeste para Este. Para ver a sua localização consultar Figura V. 18. A escala vertical corresponde ao tempo de ida e volta (TWT) em milissegundos. Estão representadas as Unidades definidas (U1, U2 e U3), e o múltiplo da interface água/sedimento (M).	90
Figura V.21: Perfil de reflexão sísmica EW_10 situado na zona sul da área de estudo. O perfil está representado de Oeste para Este. Para ver a sua localização consultar Figura V. 18. A escala vertical corresponde ao tempo de ida e volta (TWT) em milissegundos.	91
Figura V.22: Perfil de reflexão sísmica EW_10 situado na zona sul da área de estudo. O perfil está representado de Oeste para Este. Para ver a sua localização consultar Figura V. 18. A escala vertical corresponde ao tempo de ida e volta (TWT) em milissegundos. Estão representadas as Unidades definidas (U1, U2 e U3), e o múltiplo da interface água/sedimento (M).	92
Figura V.23: Perfil de reflexão sísmica NS_21, situado junto à costa na zona sul da área de estudo. O perfil está representado de Norte para Sul. Para ver a sua localização consultar Figura V. 18. A escala vertical corresponde ao tempo de ida e volta (TWT) em milissegundos.	93
Figura V.24: Perfil de reflexão sísmica NS_21, situado junto à costa na zona sul da área de estudo. O perfil está representado de Norte para Sul. Para ver a sua localização consultar Figura V. 18. A escala vertical corresponde ao tempo de ida e volta (TWT) em milissegundos. Estão representadas as Unidades definidas (U1, U2 e U3), e o múltiplo da interface água/sedimento (M).	94
Figura V.25: Perfil de reflexão sísmica NS_44, situado na zona mais ao largo e sul da área de estudo. O perfil está representado de Norte para Sul. Para ver a sua localização consultar Figura V. 18. A escala vertical corresponde ao tempo de ida e volta (TWT) em milissegundos.	95
Figura V.26: Perfil de reflexão sísmica NS_44, situado na zona mais ao largo e sul da área de estudo. O perfil está representado de Norte para Sul. Para ver a sua localização consultar Figura V. 18. A escala vertical corresponde ao tempo de ida e volta (TWT) em milissegundos. Estão representadas as Unidades definidas (U1, U2 e U3), e o múltiplo da interface água/sedimento (M).	96

Lista de Tabelas

Tabela II.1: Índices utilizados no estudo de determinação das circulações do escoamento em Portugal (Trigo e DeCâmara 2000).	13
Tabela II.2: Tipos de regimes obtidos por Trigo e DeCâmara (2000).	14
Tabela IV.1: Resultados da Análise Granulométrica realizado nos sedimentos recolhidos no levantamento geofísico FFOZ_2014.	69
Tabela V.1: Definição das dimensões de Ripples, Megaripples e Dunas (Gonzales, 1984).	75

I. Introdução

I.1. Natureza e âmbito deste trabalho

O presente trabalho corresponde à dissertação final do Mestrado em Ciências do Mar e das Zonas Costeiras, do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro. Foi realizado no âmbito de uma bolsa de investigação do projeto “Estudo da dinâmica sedimentar na embocadura da barra do porto da Figueira da Foz”, realizado pela Universidade de Aveiro para a Administração do Porto de Aveiro (APA S.A.).

O trabalho foi desenvolvido no Departamento de Geociências sob a orientação do Professor Doutor Luís Menezes Pinheiro, da Universidade de Aveiro. A planificação, aquisição, processamento e interpretação dos dados apresentados neste trabalho foram realizados no Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.

No âmbito desta tese o autor teve a oportunidade de planear e participar em duas campanhas científicas (FFOZ_2014 – dezembro de 2014; e FFOZ_2015 – setembro 2015). O levantamento geofísico FFOZ_2015 estava previsto ser realizado em maio de 2015, mas devido a problemas com a embarcação da Administração do Porto da Figueira da Foz foi sucessivamente adiado até setembro de 2015. Este facto teve não permitiu o tratamento analítico e processamento de todos os dados adquiridos na 2ª campanha, nomeadamente na análise granulométrica, razão porque no que respeita à 2ª campanha, apenas se apresentam os resultados do processamento dos dados de sonar de varrimento lateral e de alguns perfis de reflexão sísmica.

I.2. Objetivos

Esta dissertação teve como objetivo principal a interpretação integrada de dados geofísicos e geológicos, adquiridos em levantamentos realizados no âmbito desta tese, com o intuito de estudar a distribuição de sedimentos em águas pouco profundas na embocadura do rio Mondego. Os objetivos específicos do trabalho foram:

- Planificação e participação nas campanhas científicas onde foram recolhidos os dados utilizados neste trabalho, com recurso ao *software* ArcGis;
- Desenvolvimento de capacidades para o processamento de dados geofísicos de Sonar de Varrimento Lateral para o qual se utilizou o *software* de processamento TRINTON Prespective e dados de CHIRP Sonar com recurso ao *software* RadExPro;

2| Introdução

- Caracterização e cartografia da morfologia de fundo e dos diferentes tipos de sedimentos na área de estudo, integrando dados geofísicos com dados de amostragem de sedimentos;

Este projeto permitiu a caracterização sedimentar e dos padrões de sedimentação da zona da Figueira da Foz, o que contribuiu para uma melhor compreensão dos processos costeiros nesta região, associados à deposição de sedimentos.

I.3. Localização da área de estudo

A região em estudo corresponde a uma área aproximadamente de 4km², localizada ao largo da costa oeste portuguesa em frente à embocadura do rio Mondego (Figura I.1). Encontra-se limitada a norte pelo Cabo Mondego, sul estende-se até à Cova da Gala.

I.4. Dados utilizados

De modo a realizar o planeamento dos levantamentos geofísicos executados foi necessário recorrer a dados batimétricos cedidos pela Administração do Porto de Aveiro. Foram também utilizados neste trabalho os dados adquiridos nos dois levantamentos geofísicos (FFOZ_2014 e FFOZ_2015) realizados na zona da Figueira da Foz, na embocadura do Rio Mondego, nos quais o autor participou. Estes consistiram num total de 64 perfis combinados de sonar de varrimento lateral e sísmica de alta resolução e 46 amostras de sedimentos de fundo. As linhas executadas formaram uma grelha bastante densa com um espaçamento entre linhas norte-sul a variar entre os

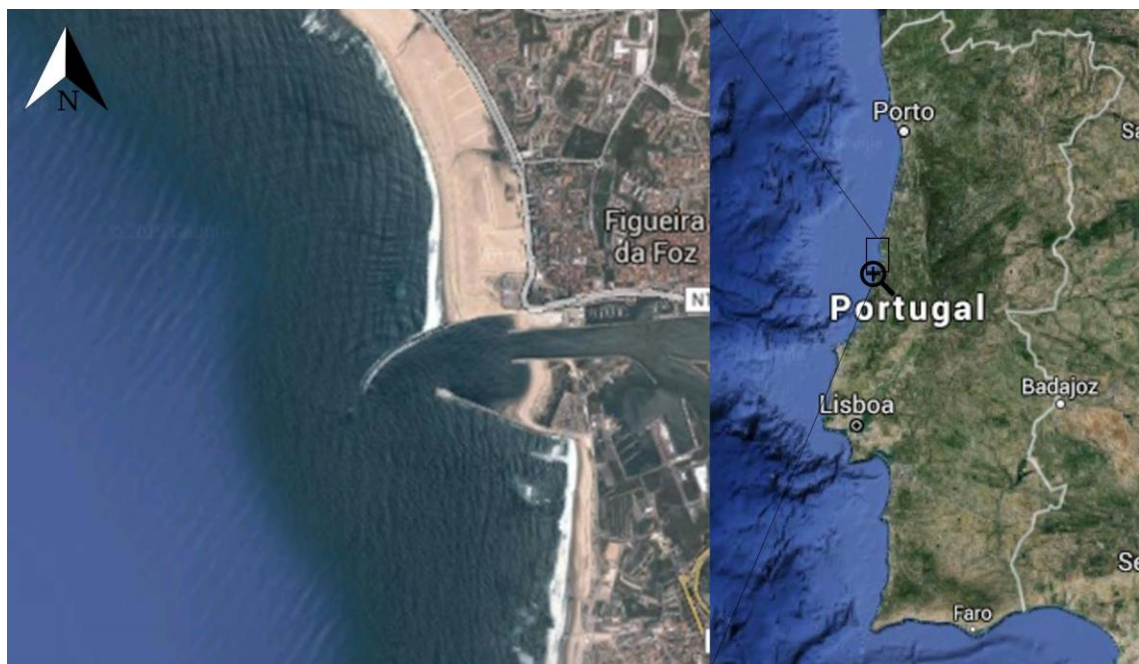


Figura I.1: Localização da área de estudo.

30 e os 130 metros e um espaçamento entre linhas Este-Oeste de 200 metros. Nesta dissertação, apenas foi realizada a análise granulométrica das 10 amostras de sedimentos da 1ª campanha, devido ao problema já referido, e dado que se trata de um processo muito demorado. No entanto, estas amostras permitiram calibrar os dados dos mosaicos de sonar de varrimento lateral, permitindo a classificação dos vários tipos de sedimentos de fundo.

I.5. Metodologia

De modo a cumprir com os principais objetivos, a metodologia utilizada na elaboração desta dissertação foi a seguinte:

- Para o planeamento dos levantamentos geofísicos criou-se uma base de dados georreferenciada no *software* ArcGis, onde foram introduzidos os levantamentos batimétricos fornecidos pela APA S.A.;
- De modo a efetuar a análise granulométrica, os resultados laboratoriais foram tratados com o programa *GRADISTAT*v.8;
- Foram realizados dois levantamentos geofísicos com recurso a um sistema integrado que combina um sonar de varrimento lateral com um sistema de reflexão sísmica de muito alta resolução *Chirp* Sonar;
- Os dados de sonar de varrimento lateral adquiridos foram processados com recurso ao *software* Triton Perspective
- Os dados de sísmica de alta resolução *CHIRP* foram processados utilizando o *software* RadExPro

I.6. Estrutura da dissertação

No capítulo II – *Enquadramento geológico, oceanográfico e climático da Área de Estudo* – é feito o enquadramento geológico e geomorfológico da área em estudo. É ainda feita uma abordagem à dinâmica costeira e ao clima da região.

No capítulo III – *Métodos de Reflexão Sísmica e de Sonar de Varrimento Lateral* – faz-se uma pequena descrição do funcionamento dos métodos de reflexão sísmica e dos métodos de sonar de varrimento lateral.

O capítulo IV - *Processamento dos dados das campanhas FFOZ_2014 e FFOZ_2015*- descreve-se o procedimento aplicado no processamento dos dados reflexão sísmica e de sonar de varrimento lateral.

4| Introdução

No capítulo V apresenta-se a interpretação dos mosaicos de sonar de varrimento lateral obtidos, a sua calibração com os dados de granulometria obtidos das amostras de sedimentos e inclui-se uma interpretação sumária de alguns dos perfis de reflexão sísmica.

Por último no capítulo VI apresentam-se as conclusões do trabalho e sugerem-se possíveis trabalhos futuros.

II. Enquadramento Geológico, Oceanográfico e Climático da Área de Estudo

II.1. Enquadramento Geodinâmico da Margem Portuguesa

Desde o Oligoceno (36-23 Ma) que a Península Ibérica faz parte da placa Euro-asiática, a norte da localização atual da fronteira entre esta placa e a placa Africana. A fronteira entre estas duas placas localiza-se ao longo da zona de fratura Açores-Gibraltar, com uma orientação Oeste-Este, e estende-se desde os Açores, a Oeste, ao Mediterrâneo, a Este. 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 (Galdeano *et al.*, 1989) sugerem que a separação entre a Península Ibérica e a América do Norte ocorreu durante os inícios do Cretácico (Pinheiro *et al.*, 1992; Whitemarsh and Miles, 1995). Os diversos estudos de reconstrução tectónica nas margens continentais da América do Norte e da Península Ibérica indicam que a margem sudeste dos grandes bancos do Canada é conjugada da margem Oeste Ibérica (Boilllot and Capdvelia, 1977; Srivastava and Verhoef, 1992).

A margem oeste Ibérica é uma margem de rift passiva não vulcânica (Boillot *et al.*, 1979), uma vez que não apresenta evidências significativas de vulcanismo *syn-rift* quer em terra ou *offshore* (Pinheiro, 1994; Whitemarsh and Miles, 1995). Além disso, diversos perfis sísmicos realizados não revelam qualquer indicação de sequências de refletores com inclinação para o mar - *SDRs* (Pinheiro, 1994; Chia *et al.*, 1999). Pelo contrário, foram encontradas evidências de serpentinização do manto (Pinheiro *et al.*, 1992; Sawyer *et al.*, 1994; Pinheiro *et al.*, 1996).

II.2. Enquadramento Geográfico e Geológico

A zona de estudo abordada nesta dissertação localiza-se na zona centro da margem Oeste da Península Ibérica (Figura II.1), na Bacia Lusitânica. Esta bacia sedimentar distensiva desenvolveu-se na Margem Ocidental Ibérica entre o Triásico Médio-Superior e o Cretácico Inferior, altura em que, o rift se desloca para Oeste (Terrinha *et al.*, 2010). Ocupa mais de 20 000 km² na parte ocidental da Margem Ocidental Ibérica, alongando-se por cerca de 200 km segundo a direção aproximada NNW-SSE e por mais 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) (Figura II.1).

6| Enquadramento Geológico, Oceanográfico e Climático da Área de Estudo

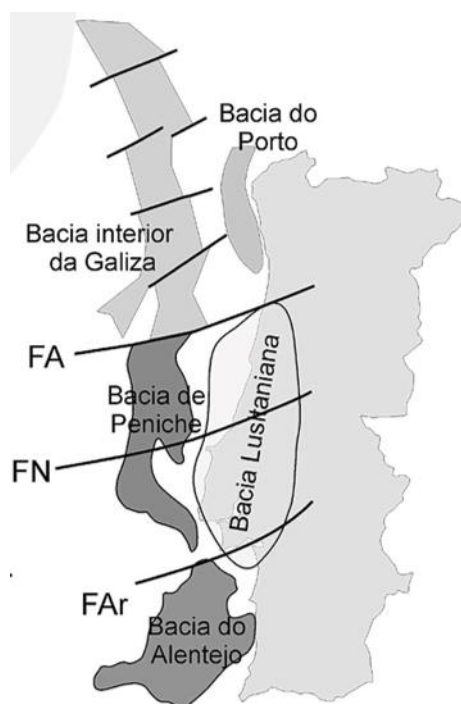


Figura II.1: Enquadramento geográfico e estrutural simplificado da Bacia Lusitânica e de outras bacias da Margem Ocidental Ibérica (Rocha e Soares, 1984).

Analisando as variações de fácies e espessura de unidades lito-estratigráficas do Jurássico Inferior, Rocha e Soares (1984) dividiram a Bacia Lusitânica em três sectores limitados por acidentes tectónicos (Figura II.2): o sector setentrional, limitado a Sul pela falha da Nazaré, com grande espessura de sedimentos depositados durante o Jurássico Inferior e Médio e o Cretácico Superior-Paleogénico (sedimentos estes formados noutra contexto geodinâmico); o sector central, que se situa entre as falhas da Nazaré (FN), a norte, e de Montejunto-Arrife, a Sul (FAr), onde o Jurássico Médio aflora bem e apresenta fortes espessuras, correspondendo grosso modo à área aflorante do atual Maciço Calcário Estremenho; e o sector meridional, marcado pela importância da sedimentação do Jurássico Superior-Cretácico.

Esta bacia formou-se ao longo de três episódios de *rifting*, de idades Triássico-Caloviano, Oxfordiano Médio e Valiaginiano-Apatiano Inferior. Segundo Wilson *et al.* (1989), o sector central da bacia subdivide-se em três sub-bacias durante o Jurássico Superior (Bombarral, Turcifal e Arruda) controladas por falhas normais em regime transtensional, tendo-se formado bacias *pull-apart*. Em suma, a Margem Oeste Portuguesa, sendo uma margem continental passiva, regista uma evolução estrutural complexa com o *fabric* estrutural de fases distensivas Jurássicas - Cretácicas condicionando os graus de estilos de deformação crustal gerados durante episódios de inversão tectónica. A reativação das falhas Mesozoicas pode ser agrupada em três episódios tectónicos distintos. Esta característica sugere que o termo “margem passiva”, correto para a sua origem, não

será assim totalmente aplicável à situação atual da margem portuguesa, dado que a evolução pós *rift* regista deformação crustal significativa (Terrinha *et al.*, 2010).

A zona de estudo localiza-se na parte norte da Bacia Lusitânica e é adjacente ao estuário do rio Mondego (Figura II.2 e Figura II.3). Está delimitada a norte pelo cabo Mondego que corresponde ao paralelo de 40° 10' N e ao meridiano de 8° 52' W e estende-se até cerca de 2.5 km para sul da embocadura do Rio Mondego (Figura II.3). 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, 1999).

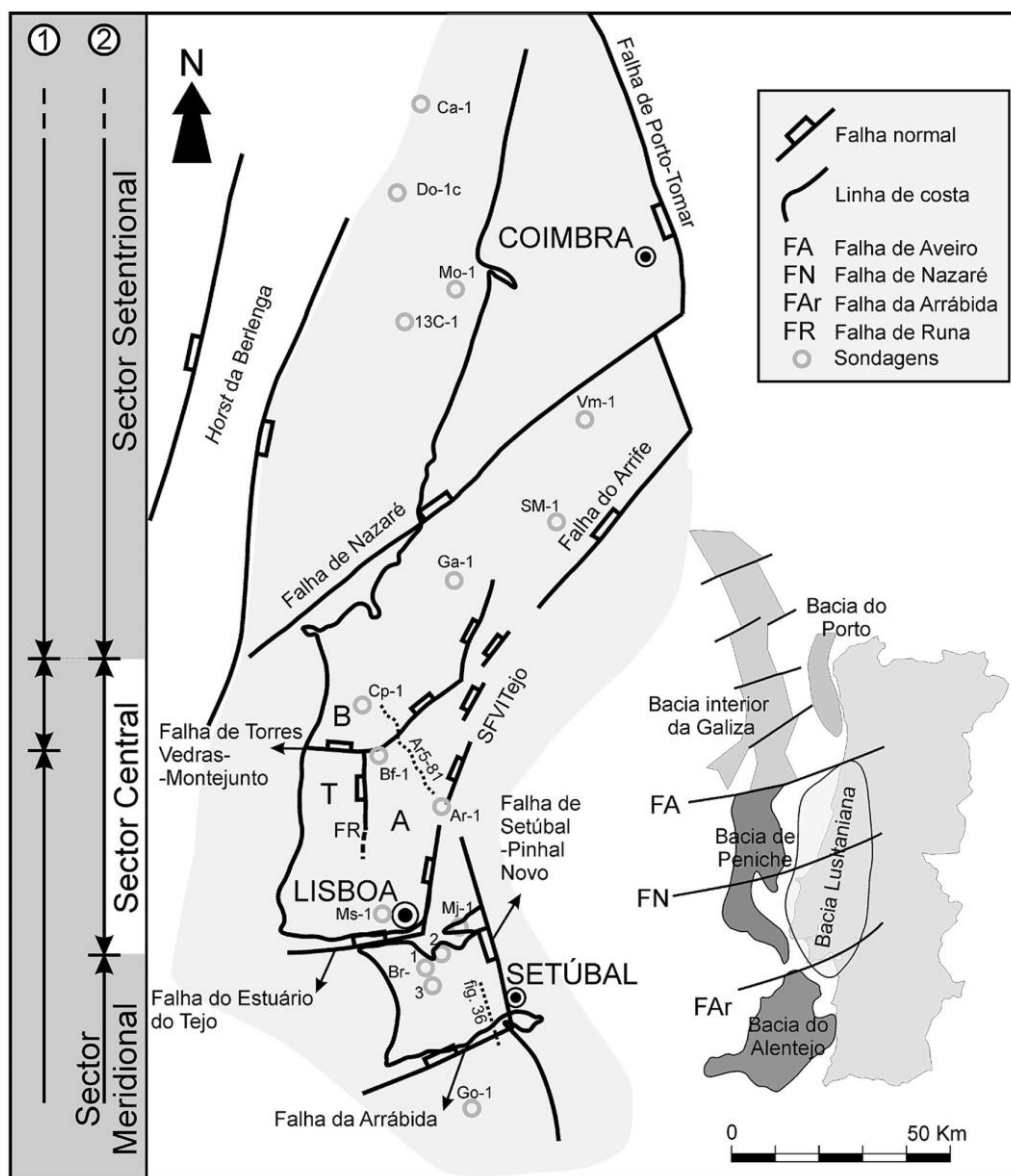


Figura II.2: Esquema representativo da divisão da Bacia Lusitânica em três sectores, (adaptado de Kullberg, 2006).

8| Enquadramento Geológico, Oceanográfico e Climático da Área de Estudo

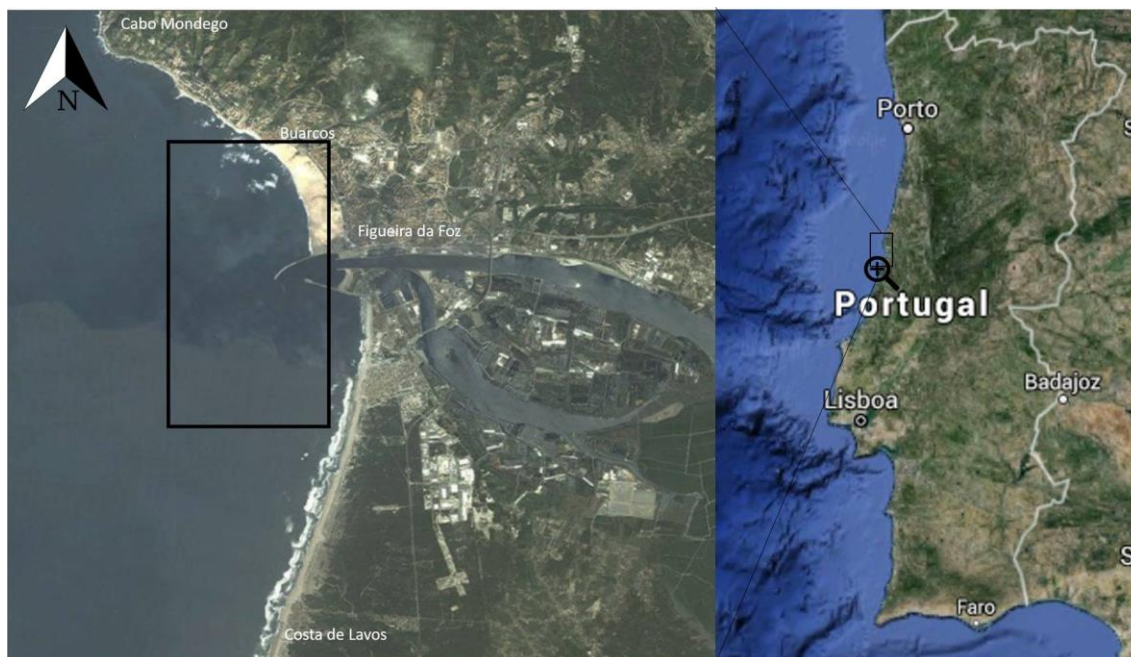


Figura II.3: Localização da Área de Estudo.

Do ponto de vista geológico esta área apresenta uma grande diversidade litológica de rochas carbonatadas e siliciclásticas e depósitos superficiais pertencentes ao Mesozóico -Cenozóico. O regime tectónico local está controlado pela falha da Serra da Boa Viagem que tem uma direção WNW-ESSE e que se estende para o *offshore*. Esta gerou um *uplift* regional durante o Plio-Pleistoceno do massivo calcário do Jurássico. Consequentemente, a sucessão sedimentar Jurássico-Cretácico apresenta uma deformação monoclinal com uma inclinação em direção ao estuário do Mondego. As formações do Cretácico incluem sucessões de plataformas carbonatadas marinhas que se sobrepõem a uma unidade de areia grosseira e conglomerados gerados pela progradação de sistemas aluviais durante o Cretácico inicial (Andrade *et al.*, 2010).

Na Praia de Buarcos existem plataformas rochosas de abrasão que se estendem quase continuamente até ao Cabo Mondego e que se prolongam para além da linha de baixa-mar viva, até uma profundidade de -1 m (ZH) (Larangeiro e Oliveira, 2003).

De acordo com a carta geológica de Portugal 19-C à escala 1:50000 (Figura II.4), a Norte do cais comercial (*onshore*) afloram aluviões do Holocénico (Figura II.4). De uma forma geral, os aluviões, constituídos por formações fluvio-marinhas, são bastante desenvolvidos ao longo do Rio Mondego e também ao longo dos seus principais vales afluentes (Rocha *et al.*, 1981).

Em direção a Norte, com uma forma linear, e com alinhamento E-W afloram, das mais recentes para as mais antigas, as formações dos arenitos finos de Lousões (C⁴ na Figura II.4), seguidas de uma faixa de cerca de 500m de largura de calcários (C²⁻³ na Figura II.4) e pelos arenitos de Carrascal (C¹⁻² na Figura II.5), todas de idade Cretácica (Rocha *et al.*, 1981).

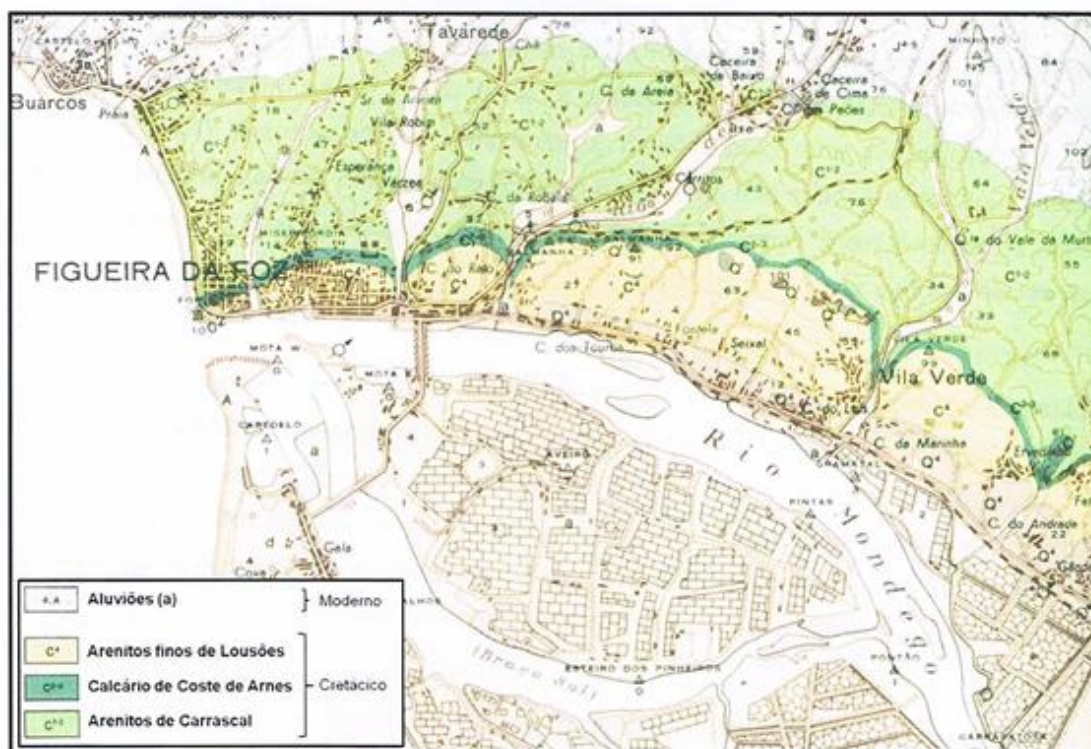


Figura II.4: Parte da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000 (Folha 19-C) compreendendo a zona de trabalho (adaptado de Rocha et al., 1981).

Os arenitos do Carrascal assentam em discordâncias sobre as formações anticlinais Jurássicas, circundando-as de forma harmoniosa. São constituídos por arenitos mais ou menos argilosos, finos a grosseiros, e por argilas em geral arenosas. Do ponto de vista granulométrico, esta formação apresenta uma diminuição no calibre dos grãos, da base para o topo. O limite superior desta formação é marcado pelo aparecimento dos calcários da Costa de Arnes, que afloram desde a Figueira da Foz até Lares, onde são cortados abruptamente pelo Rio Mondego. Sobre esta formação carbonatada assentam os arenitos finos de Lousões (Rocha *et al.*, 1981).

A sul da embocadura do Rio Mondego estamos na presença de dunas eólicas formadas por sedimentos do Pleistoceno superior até o Holoceno.

A geomorfologia desta parte da costa apresenta um trecho litoral baixo, com exceção do cabo Mondego, exposto e de elevada energia, com praias arenosas e organização morfodinâmica intermédia, ocasionalmente dissipativa (Andrade *et al.*, 2010).

II.3. Dinâmica Costeira

A interação entre a água do mar e a costa mantêm permanentemente a dinâmica das zonas costeiras. O movimento de sedimentos depositados no fundo é determinado pela ação do

escoamento associado a correntes de maré e correntes induzidas pelo vento, assim como pela propagação de ondas de superfície. Assim o transporte de sedimentos emersos e submersos é preponderante na dinâmica e configuração da costa (Gonçalves, 2009). O litoral de Portugal Continental é mesotidal elevado, com maré semi-diurna. Os campos de correntes a ela associados apenas adquirem importância morfológica e sedimentar nas vizinhanças de todas as embocaduras de maré, bem como no interior dos estuários e lagunas. Esta característica contribui para transformar as embocaduras em armadilhas sedimentares (Andrade *et al.*, 2010).

II.3.1. Marés

Junto à costa, as correntes de maré são um elemento muito importante nos processos fundamentais de fornecimento e distribuição de sedimento, principalmente durante os períodos de marés vivas. O efeito da rotação da Terra, as características da onda de maré que atinge a plataforma, as características da batimetria e a configuração da costa são alguns dos fatores que influenciam as correntes induzidas pelas marés, que contribuem para a remobilização de sedimentos (Magalhães, 1999). Segundo Magalhães (1999) as correntes de maré atingem velocidades máximas no bordo da plataforma continental.

Como foi referido anteriormente, a maré na costa portuguesa é do tipo semidiurno, ou seja, com dois níveis de preia-mar e baixa-mar por dia. É dominada pelos constituintes lunar e solar principais (M2 e S2 respetivamente) que são responsáveis por variação quinzenal da sua amplitude (marés vivas/ marés mortas) (Marta-Almeida e Dubert, 2006). Na zona da Figueira da Foz a amplitude de maré varia entre 2m (maré morta) e 4m (maré viva) (Bacelar-Nicolau *et al.*, 2003; Kenov *et al.*, 2012). A variação diurna observada na maré deve-se às componentes dos constituintes diurnos, K1 e O1 que apresentam valores na ordem dos 0.08m e 0.06m, respetivamente (Marta-Almeida e Dubert, 2006), e por esse motivo são bastante inferiores.

O estuário do Rio Mondego e o seu caudal têm um papel muito importante na zona de estudo. Segundo o relatório da APA (2015), o caudal apresenta um regime sazonal sendo que os valores máximos entre 1988 e 2015, no verão não ultrapassam os 100m³/s e os valores no inverno não excedem os 1000 m³/s, com a exceção do inverno de 2001 em que o máximo foi de 1800m³/s.

II.3.1.1. Agitação Marítima

A agitação marítima pode ser classificada de dois modos: águas profundas e águas pouco profundas. A agitação marítima *offshore* acontece em zonas com profundidade suficiente para que os fundos não influenciem a propagação da onda. A agitação em águas pouco profundas é

influenciada pela configuração da batimetria de fundo, orientação da costa e contorno da linha de costa (Marques, 1997; APA, 2015).

A agitação *offshore* é registada através de boias ondógrafo que medem a altura significativa da onda, a altura máxima, e o período médio e máximo, entre outros parâmetros. Segundo APA (2015), recorrendo às medições das boias de Leixões e da Figueira da Foz entre 1990 e 2003, a proveniência da ondulação nesta zona tem predominância do quadrante noroeste durante todo o ano. Relativamente à altura significativa, entre 1990 e 2003, verificou-se que para os períodos de verão (abril a setembro) esta apresenta grande parte dos seus valores abaixo dos 1.5m. Já para os períodos de inverno (outubro a março) esta apresenta valores mais elevados, com a maior percentagem destes valores acima dos 4.5m, podendo mesmo chegar aos 8m. O período da ondulação apresenta um comportamento idêntico ao da altura significativa, sendo que os valores mais altos se concentram no inverno e os valores mais baixos no verão (APA, 2015). Ainda segundo APA (2015) conclui-se que as menores alturas de onda correspondem a períodos de onda menores, nos meses de verão, e que as maiores alturas de onda correspondem a períodos de onda maiores, típico dos meses de inverno (Figura II.5).

A agitação marítima na zona da Figueira da Foz, junto à costa, é modificada por fenómenos de refração, difração e rebentação. Estas modificações levam a que se criem características específicas nas ondas que por sua vez têm um papel importante no transporte sedimentar (APA, 2015). Segundo Capitão *et al.* (1997) a direção mais frequente das ondas num ponto próximo da Figueira da Foz provêm do sector N270°-300° e estão associadas a valores de altura da onda entre 0.5 e 3m.

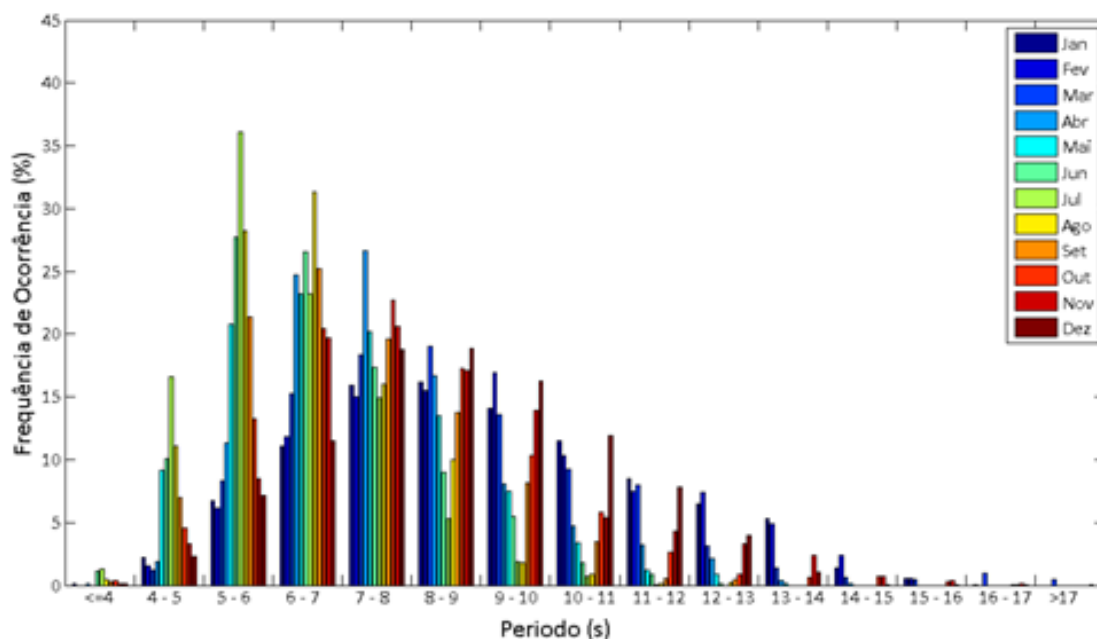


Figura II.5: Distribuição do período das ondas, por meses do ano, em Leixões e Figueira da Foz, entre 1990 e 2003 (APA 2015).

No entanto foram observados valores significativamente superiores a 4m sendo que o valor máximo simulado não ultrapassou os 7.5m devido ao processo de rebentação. Mais uma vez os valores mais elevados da altura de onda acontecem durante o inverno, enquanto os valores mais baixos ocorrem no verão.

II.3.1.2. Correntes e Deriva Litoral

Correntes de deriva litoral são fluxos de água ao longo da costa que resultam da obliquidade das ondas em relação à costa e do transporte de massa (Schwartz, 2005). Estas correntes apresentam grande capacidade de mobilização de sedimentos e ocorrem geralmente em costas salientes, ao longo das quais as ondas oblíquas movem os sedimentos. Dadas as características do litoral da zona de estudo, este processo é fácil de identificar. A deriva litoral tende a adaptar-se ao perfil da costa, correndo paralelamente a esta, num ou noutro sentido durante dias seguidos.

O sector da costa entre o cabo Mondego e a costa de Lavos (Figura II.3) apresenta diferenças significativas a norte e a sul da embocadura do estuário do Mondego que determinam a dinâmica sedimentar. A norte do estuário, estamos na presença da praia da Figueira da Foz com uma forma curvilínea com uma orientação N-S e com uma extensão de 2km, seguida pela praia de Buarcos que apresenta uma extensão de 2.8km e uma orientação WNW-ESSE e estende-se até ao Cabo Mondego. A sul da embocadura do rio Mondego estamos na presença de praias retilíneas que apresentam uma orientação NNE-SSW (Figura II.3).

O transporte longitudinal de sedimentos neste sector faz-se de norte para sul como podemos ver na acreção de sedimentos na praia da Figueira da Foz, que de 1962 a 1980 aumentou cerca de 400m na zona mais a sul e 180m na zona mais a norte (APA, 2015).

A primeira avaliação da deriva litoral nesta zona foi realizada através da marcação de areias da praia com prata radioativa (L.N.E.C., 1961; Abecasis *et al.*, 1962). Calculou-se um volume de transporte de areia anual, a partir do transporte de caudal sólido medido no período de verão de 1957, de 400000-500000m³/ano. Ainda segundo Abecasis *et al.* (1962), os sedimentos que alimentam este setor provêm do setor localizado a norte do Cabo Mondego. Outras estimativas efetuadas indicam valores da ordem de 1×10⁶m³/ano (Vicente e Clímaco, 1986). Segundo Cunha e Dinis (1998) de acordo com o estudo de Abecasis *et al.* (1962), rumos de agitação inferiores a N283° impedem a transposição dos sedimentos no Cabo Mondego.

II.4. Enquadramento Climático

As condições meteorológicas predominantes na região continental são condicionadas por fatores permanentes, tais como a latitude, a orografia e a influência do Oceano Atlântico. A

orientação da linha de costa também influencia estas condições (IM, 2004). Pode-se afirmar que a Península Ibérica está situada no bordo setentrional de uma das regiões subtropicais do globo, sob a influência de altas pressões, neste caso o anticiclone dos Açores (Peixoto e Oort, 1992). O sistema sazonal do centro de altas pressões dos Açores modera as condições médias de vento na costa Ibérica ocidental (Fiúza et al., 1982).

Segundo o relatório do Instituto de Meteorologia de 2004 os valores médios de pressão na costa Portuguesa estão compreendidos entre os 1016 e 1020 hPa, sendo que o valor mais baixo e valor mais alto registam-se no inverno, ou seja no inverno estamos perante um maior gradiente de pressão. O gradiente de pressão no verão é menor e mais estável.

Os ventos junto à costa assumem um padrão que está associado a anomalias geográficas, rios e cabos, que afetam significativamente a circulação costeira (Coelho, 2001).

II.4.1. Regime do Vento

O vento pode ter diversos efeitos nos processos que influenciam a geomorfologia costeira. A corrente resultante da fricção induzida pelo vento na superfície da água deverá ser cerca 2% da velocidade do vento (Komar, 1976). De uma maneira geral, o regime de ventos que atuam na costa portuguesa dependem maioritariamente da migração sazonal do núcleo anticiclónico dos Açores, mas também, embora com menor influência, do núcleo de baixas pressões da Islândia (Marques, 1997).

Tabela II.1: Índices utilizados no estudo de determinação das circulações do escoamento em Portugal (Trigo e DeCâmara 2000).

Índice	Símbolo
Escoamento de Sul	SF
Escoamento de Oeste	WF
Escoamento Total	F
Efeito de corte da vortacidade Sul	ZS
Efeito de corte da vortacidade Oeste	ZW
Efeito de corte da vortacidade Total	Z

14| Enquadramento Geológico, Oceanográfico e Climático da Área de Estudo

Tabela II.2: Tipos de regimes obtidos por Trigo e DeCâmara (2000).

Tipo de Regime	Símbolo
Tipo Anticiclónico	A
Tipo Ciclónico	C
Tipo Nordeste	NE
Tipo Este	E
Tipo Sudeste	SE
Tipo Sul	S
Tipo Sudoeste	SW
Tipo Oeste	W
Tipo Noroeste	NW
Tipo Norte	N

Trigo e DeCâmara (2000) realizaram um estudo sobre os efeitos do vento à macro e meso escala em Portugal. Recorrendo a um conjunto de índices associados à direção e vorticidade do escoamento geostrófico (Tabela II.1) apresentaram uma perspetiva geral sobre as circulações tipo que ocorrem no território português.

Através destas circulações Trigo e DeCâmara (2000) obtiveram 10 tipos de regimes de circulação (Tabela II.2).

A frequência relativa para cada tipo de regime para cada mês está apresentada na Figura II. 6. O tipo anticiclónico é o regime de circulação mais frequente durante todo o ano, exceto nos meses de verão, em que predominam as circulações do tipo norte e nordeste. Esta exceção deve-se às altas pressões que se estendem dos Açores e que produzem ventos de norte bastante intensos. Estes ventos afetam toda a costa portuguesa mas têm um efeito maior nas regiões mais a norte, como é o caso da zona da Figueira da Foz.

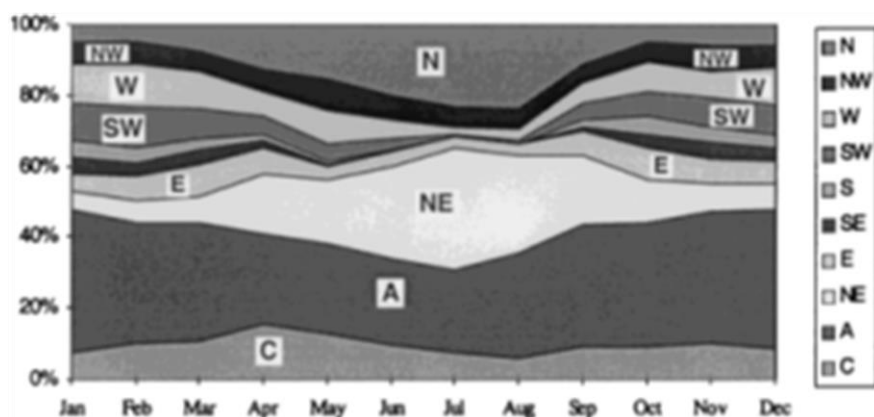


Figura II.6: Percentagem da frequência média mensal dos regimes de circulação para cada mês do ano (Trigo e DaCâmara, 2000).

III. Reflexão Sísmica de Alta Resolução e Sonar de Varrimento Lateral

Os métodos sísmicos têm uma vasta gama de aplicações, tais como cartografia de geologia regional do substrato, cartografia das sequências de camadas sedimentares ou exploração de gás e petróleo. Estes métodos também podem ser utilizados em menor escala, recorrendo a métodos de alta resolução, para o estudo de geologia a baixa profundidade. Esta dissertação insere-se no âmbito da sísmica de alta resolução.

Os dados de Sonar de Varrimento Lateral permitem obter uma espécie de “fotografia acústica” do fundo do mar, permitindo identificar diferentes estruturas superficiais, afloramentos rochosos, dando indicações sobre o tipo de sedimentos de fundo e o modo como variam lateralmente, algo que não é possível obter com o método de reflexão sísmica.

Uma campanha que combine sísmica de alta resolução e sonar de varrimento lateral permite obter uma imagem das várias camadas existentes em profundidade no subsolo com uma boa resolução vertical e obter uma “fotografia” acústica do fundo marinho com uma boa resolução horizontal que permite observar os sedimentos de fundo e os seus padrões de deposição.

III.1. Reflexão Sísmica

III.1.1. Fundamentos sobre Propagação de Ondas e Reflexão Sísmica

No método de reflexão sísmica as diferentes estruturas geológicas do subsolo são detetadas através das medições do tempo que as ondas sísmicas emitidas à superfície demoram a voltar à superfície após a sua reflexão nas interfaces entre diferentes camadas que apresentam propriedades físicas distintas: velocidade das ondas sísmicas no meio (V), densidade (ρ) e consequentemente impedância acústica (Z), que é o produto de V por ρ (Figura III.1).

De acordo com a lei de Snell, (Eq.1, onde θ_i representa o ângulo da onda incidente, θ_r ângulo da onda refletida e V_i a velocidade da onda no meio), quando uma onda atinge uma fronteira entre duas interfaces diferentes, uma parte da energia é refletida e a outra é refratada e continua a propagar-se em profundidade, mas com um ângulo diferente ao inicial.

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r} = \frac{v_1}{v_2} \quad (\text{Eq.1})$$

O tempo que uma onda refletida demora desde que é emitida até chegar aos recetores, onde é registada após reflexão nas camadas subjacentes, é usado para obter informações sobre a geologia de subsuperfície como as propriedades das rochas e a atitude das diferentes camadas. A este intervalo que decorre desde que a onda é emitida, até encontrar uma interface entre duas camadas

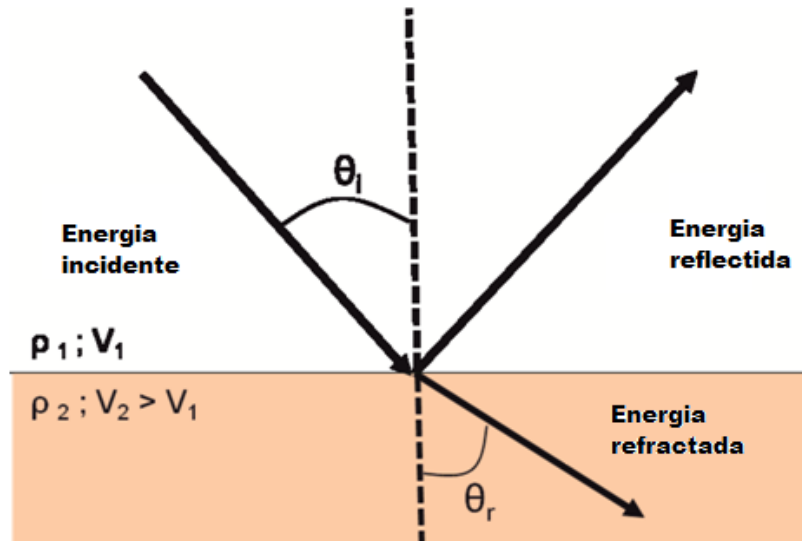


Figura III.1: Modelo simplista, sem conversão de modos, da reflexão e refração de uma onda sísmica quando atinge uma interface entre dois meios com propriedades físicas distintas. V_i representa a velocidade da onda e ρ_i representa a densidade do meio.

com diferentes densidades (ρ), velocidade das ondas sísmicas (V) e impedância acústica (Z), onde sofre reflexão, e a voltar à superfície onde é captada pelos recetores, dá-se o nome de tempo de ida e volta (TWT- *two way time*). O Coeficiente de Reflexão, para uma incidência aproximadamente vertical é proporcional ao contraste de impedância acústica (Eq.2).

$$RC = \frac{\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1}{\rho_2 V_2 + \rho_1 V_1} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (\text{Eq.2})$$

A resolução do método sísmico é determinada pelos parâmetros do sistema de aquisição e pela geometria de aquisição. Após a aquisição dos dados, a resolução só pode ser melhorada até certo ponto. Assim podemos dizer que os princípios físicos da resolução sísmica são de grande importância na interpretação sísmica (Yilmaz, 2001).

A resolução sísmica pode ser dividida em duas componentes, a componente horizontal e a vertical. A resolução vertical é definida como a capacidade de distinguir o topo e a base de duas camadas muito próximas, e é influenciada pelo comprimento de onda do sinal sísmico e pela velocidade de propagação das ondas sísmicas no meio. Esta melhora com o aumento da frequência (em Hz) da onda. Dois refletores diferentes podem ser reconhecidos como eventos sísmicos diferentes se a distância entre eles for no mínimo $\frac{1}{4}$ do comprimento de onda (λ)(Eq 3):

$$\lambda = \frac{V}{f} \quad (\text{Eq.3})$$

onde V é a velocidade da onda sísmica e f a frequência.

A frequência das ondas transmitidas depende das características da fonte sísmica. No entanto a frequência vai-se alterando à medida que as ondas se vão propagando, perdendo as frequências

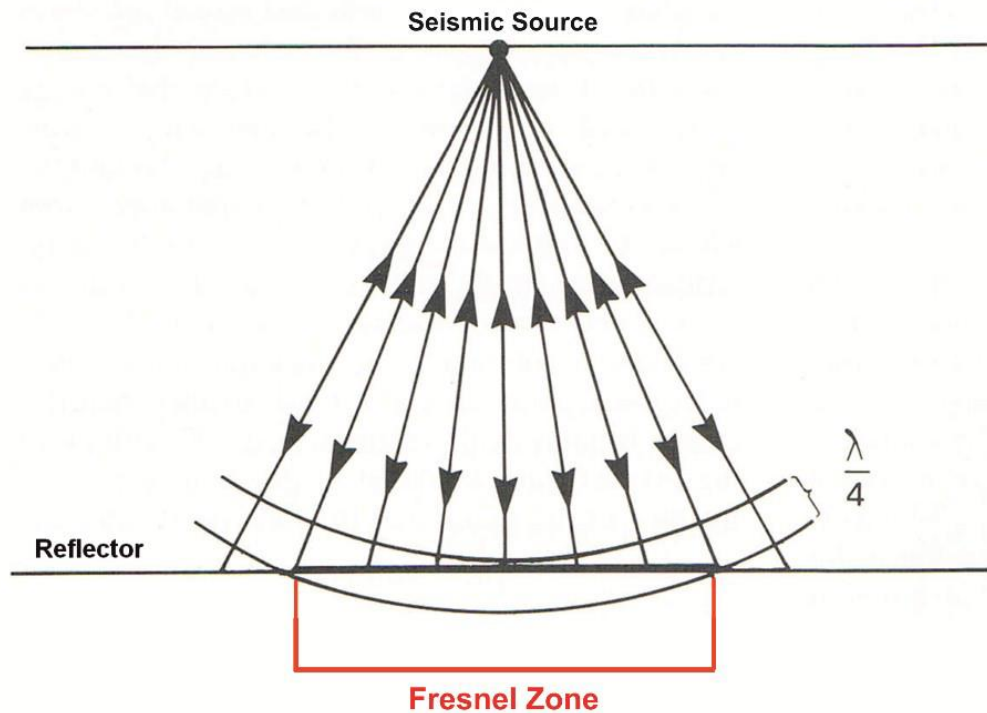


Figura III.2: Representação esquemática da Zona de *Fresnel*. A energia chega aos recetores vinda de todos os pontos do refletor “iluminados” pela frente de onda. A parte do refletor onde a energia é refletida com comprimento de onda, que vai até metade do comprimento de onda inicial é denominada Zona de *Fresnel*.

mais elevadas com o aumento da profundidade. Ou seja, as frequências mais altas são atenuadas mais rapidamente que as mais baixas. Podemos então concluir que quanto mais elevada for a frequência da onda menor será a sua penetração, mas maior será a resolução vertical obtida.

A resolução horizontal do método de reflexão sísmica é principalmente influenciada pelo processo de reflexão e pelo espaçamento entre os recetores. A resolução horizontal é definida pela chamada Primeira Zona de Fresnel (Figura III.2). O Princípio de Huygens diz-nos que cada parte da frente de onda sísmica é a fonte de uma nova onda, e que a área onde as ondas interferem construtivamente é a área de interesse, intitulada Primeira Zona de Fresnel (para mais detalhes, ver por exemplo Sheriff and Geldart (1995)).

As dimensões da Zona de Fresnel podem ser calculadas facilmente, através de simples geometria. O raio da Zona de Fresnel é dado pela Equação 4

$$FR = \frac{v}{2} \sqrt{\frac{t}{f}} \quad (\text{Eq.4})$$

onde V é a velocidade sísmica na camada, t o TWT e f a frequência das ondas sísmicas. O raio da Zona de Fresnel aumenta com o aumento da velocidade, o aumento do TWT (profundidade do

refletor) e a diminuição da frequência, ou seja, quanto maior for o raio da Zona de Fresnel menor será a resolução horizontal dos dados obtidos.

III.1.2. Natureza dos Traços Sísmicos

Um traço sísmico representa a variação de velocidade de propagação de ondas sísmicas nas várias formações geológicas, proporcionais aos respectivos coeficientes de reflexão. Quando o sinal sísmico chega à primeira litologia no fundo do mar, os recetores registam um coeficiente de reflexão positivo. No entanto quando esse sinal prossegue e contacta com uma camada de menor impedância acústica, o coeficiente de reflexão passa a ser negativo (Figura III.3). O *timing* de reflexão de uma interface específica varia de traço para traço pois depende de alguns fatores como a velocidade média até chegar à interface, a profundidade a que se encontra a interface e o offset entre a fonte e os recetores (Hatton *et al.*, 1986). O traço sísmico será a convolução da onda-fonte pela sequência de reflectividade gerada pelas interfaces entre as várias camadas geológicas.

No entanto na prática o traço sísmico também contém informação indesejada, em particular reflexões múltiplas, ruído coerente e ruído aleatório. (Hatton *et al.*, 1986).

Além da energia que retorna via uma reflexão simples, existem trajetórias mais complexas (Quando na energia recebida está envolvida mais do que uma reflexão na mesma interface, estamos na presença de uma reflexão múltipla (Hatton *et al.*, 1986). Em reflexão sísmica no meio aquático este fenómeno é muito comum devido à interface água-ar e sedimento-água, pois os múltiplos ocorrem geralmente quando estamos na presença de interfaces com grande impedância acústica,

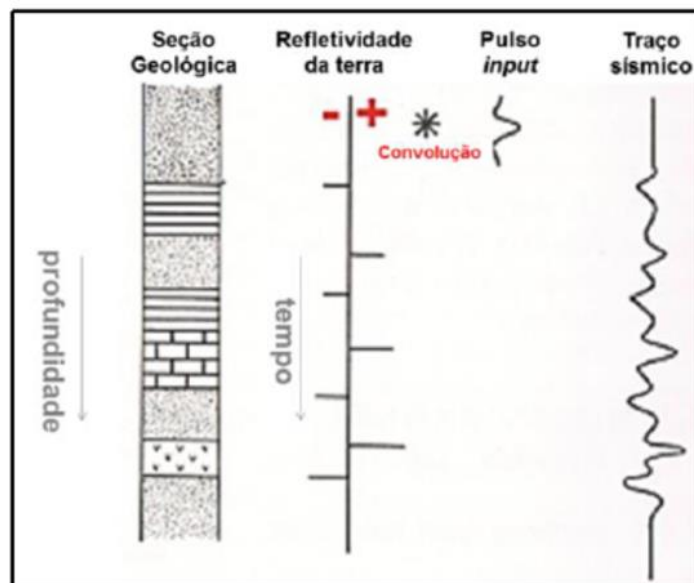


Figura III.3: Traço sísmico visto como uma convolução entre uma função de reflectividade e uma onda fonte (modificado de Kearey e Brooks 1991).

que é o caso destas duas interfaces, onde a energia não sofre praticamente refração e é quase toda ela refletida. Quando a energia chega à interface sedimento/água grande parte dela é refletida (devido à elevada impedância acústica desta interface). Desta energia refletida, parte é recebida pelos recetores enquanto outra parte vai ser novamente refletida, neste caso pela interface ar/água, que devido à sua elevada impedância acústica, reflete quase toda a energia de volta, que irá realizar o mesmo trajeto que a energia que foi “disparada” pela fonte. Deste modo a energia recebida pelo recetor vai apresentar mais do que uma reflexão do fundo marinho. A distância adicional percorrida por esta energia resulta num atraso temporal constante, independentemente da distância entre o recetor e a fonte.

Segundo Sheriff e Geldart (1995) podemos definir os múltiplos em duas classes distintas, múltiplos de pequena distância (*short-path*) e múltiplos de longa distância (*long-path*). Os múltiplos de longa distância são aqueles cujos o percurso percorrido é longo em comparação com a reflexão principal dessa interface. Estes podem ter diferentes atrasos temporais, dependendo da profundidade e da distância entre interfaces (Figura III. 4b) e c)). Um exemplo deste tipo de múltiplo é o múltiplo do fundo do mar/camada de água (Figura III. 4b). Um múltiplo de pequena

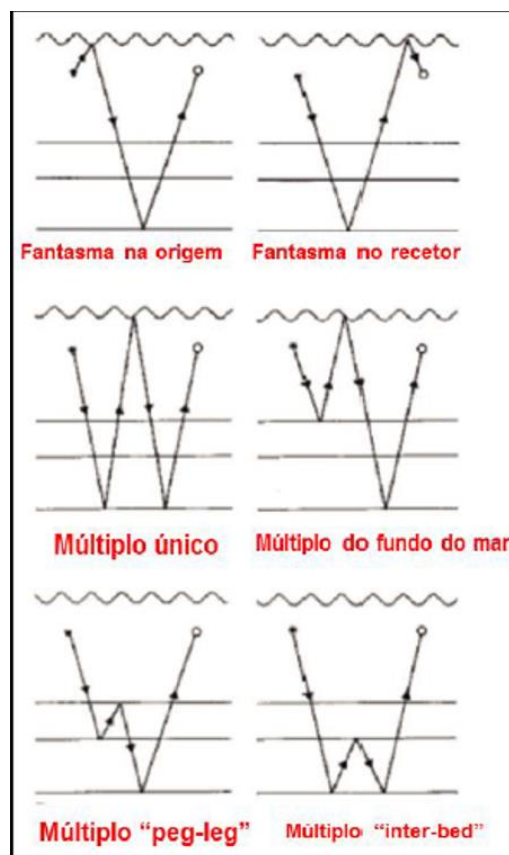


Figura III.4: Trajetória dos raios de algumas famílias de múltiplos complexos; a) múltiplo de pequena distância; b) e c) múltiplos de longa distância (modificado de (Hatton *et al.*, 1986).

distância apresenta um atraso temporal muito pequeno relativamente à primeira reflexão que invés de produzir um evento separado acaba por interferir com o pulso primário gerando assim um pulso modificado. Exemplos de múltiplos de curta distância são múltiplos junto à superfície, *ghosts* e alguns tipos de múltiplos *peg-leg*. Os *ghosts* (Figura III.4) ocorrem porque a fonte e os recetores são rebocados em profundidade e não à superfície. Estes produzem um pulso de grande amplitude com polaridade negativa devido ao coeficiente de reflexão água/ar (próximo de -1), que interfere com o pulso principal e modifica esse pulso. Os múltiplos são muito importantes pois podem criar graves problemas no processamento e interpretação dos dados (Hatton *et al.*, 1986).

O ruído coerente apresenta-se como um alinhamento de energia, que se distingue facilmente em todos os traços de um pulso e pode ser removido geralmente recorrendo a filtragens bidimensionais. Segundo Hatton *et al.* (1986) existem cinco tipos de ruído coerente: ondas diretas, que consistem em energia que não é refletida e vai diretamente da fonte para os recetores; ondas refratadas, que são devidas à energia que atinge a interface no ângulo crítico e portanto se refrata ao longo da interface e emerge em direção à superfície onde é registada pelos recetores; ondas difratadas, que são devidas à energia que se dispersa em todas as direções a partir de um ponto; ruído vibracional, representado por energia resultante da vibração do equipamento devido ao motor da embarcação ou do estado do mar; ruído de interferência, devido à energia gerada por outras embarcações, em particular como outras embarcações que executem levantamentos sísmicos, que podem interferir mesmo a grandes distâncias.

Contrariamente ao ruído coerente, o ruído aleatório, como o próprio nome indica, não apresenta qualquer correlação de traço para traço. Segundo Hatton *et al.* (1986) alguns dos tipos de ruído aleatório mais comuns são: ruído dos instrumentos que pode ter origem no ruído de maquinaria de grandes dimensões que se encontre a bordo da embarcação como por exemplo compressores, interferência proveniente da energia elétrica da embarcação que por vezes apresenta interferência na ordem dos 50 ou 60Hz, ruído provocado pela ação das ondas no cabo, que reboca o equipamento, que força o movimento do cabo através da água.

III.1.3. Aquisição de Reflexão Sísmica de Alta Resolução em meio aquático

Quando se pretende realizar uma campanha de sísmica com uma elevada resolução vertical é necessário recorrer a equipamentos específicos de reflexão sísmica de alta resolução (Figura III. 5). Entre os equipamentos mais usados, salientam-se os *Chirp* sonares, os Sparkers e os Boomers. Quando pretendemos sísmica de muito alta resolução e não necessitamos de uma penetração superior a cerca de 30-40m, o equipamento de sísmica de alta resolução geralmente mais utilizado, e aquele que se usou neste trabalho, é o *Chirp* Sonar.

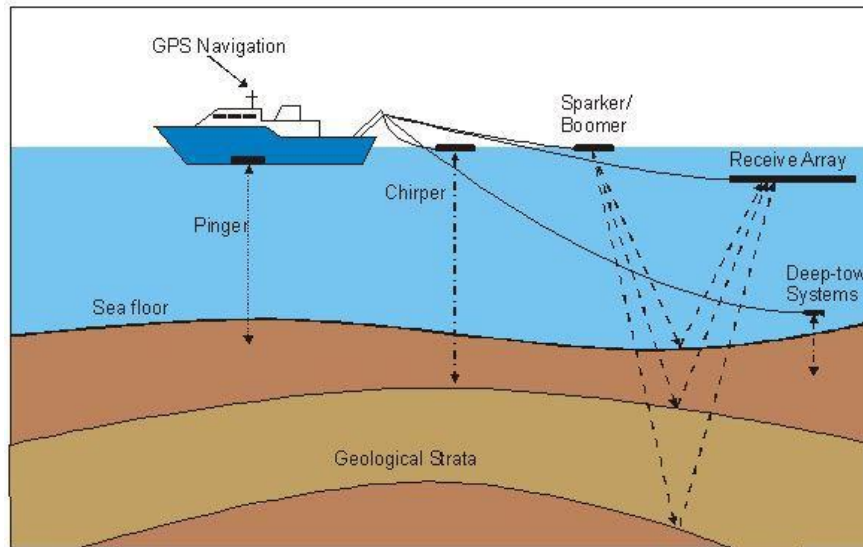


Figura III.5: Modelo de representação de vários sistemas de aquisição sísmica de águas pouco profundas (OzCoasts, 2013).

O *Chirp* Sonar (*Compressed High Intensity Radar Pulse*) é um perfilador marinho de banda larga com frequência modulada, que permite obter dados sísmicos de alta resolução. Normalmente os sonares *Chirp* transmitem pulsos de frequência modulada na banda 0.5-40kHz (mais vulgarmente 0.5-12kHz), o que permite uma resolução vertical centimétrica ou decimétrica e uma penetração de cerca de 30 metros (Quinn *et al.*, 1998). O *Chirp* Sonar apresenta a fonte e o recetor no mesmo veículo que é rebocado por um navio, sendo que este transfere os dados adquiridos por um cabo de reboque para o computador que se encontra a bordo (Figura III.5).

Os sistemas *Chirp* distinguem-se dos outros sistemas de sísmica convencional devido à natureza de assinatura da fonte, que é bem determinada, regulável e repetível. Em vez de enviarem um sinal de uma só frequência, enviam sinal de frequência modulada, varrendo uma larga gama de frequências como podemos ver na Figura III.6 (Pinheiro *et al.*, 2011). De modo a obter-se uma melhor resolução utilizam-se frequências mais elevadas mas por sua vez a penetração da energia vai ser inferior; se o objetivo for obter uma maior penetração utilizam-se frequências mais baixas mas perde-se resolução. Estes sistemas têm a vantagem de otimizarem o balanço entre as resoluções vertical e horizontal e a penetração nos sedimentos.

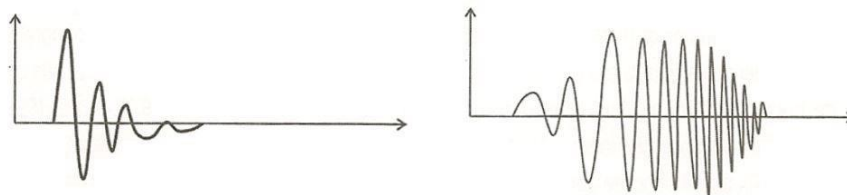


Figura III.6: Comparação entre pulso de sísmica convencional (direita) e um pulso do *CHIRP* (esquerda) (Shock e Leblanc, 1990).

A principal aplicação deste equipamento é a identificação e caracterização de camadas de sedimentos ou rochas que se encontram nas primeiras dezenas de metros por baixo do fundo marinho. Este tipo de dados são utilizados por exemplo para perceber onde se podem colocar oleodutos e gasodutos, para avaliação de locais de poços e estudos arqueológicos e ambientais e para planificação de operações de dragagens.

III.2. Sonar de Varrimento Lateral

Os métodos acústicos são geralmente os métodos usados para investigar de uma forma contínua e precisa o fundo marinho. Nos dias de hoje existe uma grande variedade de instrumentos capazes de produzir uma imagem dos fundos marinhos. Na Figura III.7 estão representados três tipos de sistemas: Sonda de Feixe Único, Sonda Multi-Feixe, e Sonar de Varrimento Lateral.

Os sistemas de batimetria, como o próprio nome indica, são utilizados vulgarmente para determinar a profundidade do fundo do mar e produzir mapas batimétricos. O sistema de feixe único mede a profundidade de apenas um ponto que se encontra diretamente de baixo do transdutor. O sistema de multifeixe por sua vez mede a profundidade de vários pontos ao mesmo tempo, apresentando uma faixa de valores perpendicular ao movimento do navio.

O Sonar de Varrimento Lateral é um outro tipo de sistema sonar que reproduz imagens de alta resolução do fundo marinho e tem como objetivo fornecer informação sobre o fundo marinho como por exemplo a distribuição e características dos sedimentos superficiais. Este tipo de sonar é uma adaptação dos sistemas de deteção submarina criados na Segunda Grande Guerra.

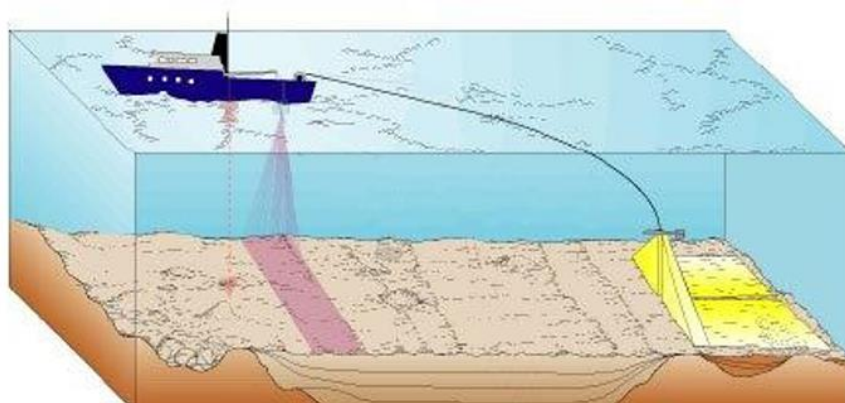


Figura III.7: Os principais tipos de sistemas sonar (da esquerda para a direita) sonda de um feixe, sonda multifeixe e sonar de varrimento (UGS, 2014).

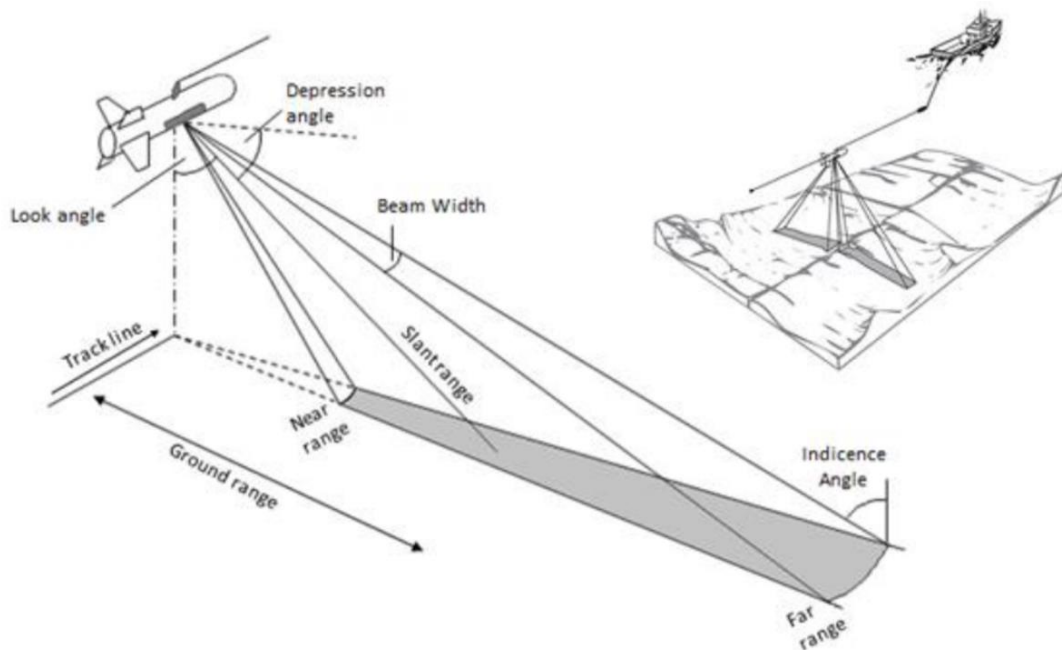


Figura III.8: Geometria típica de pulso de Sonar de Varrimento Lateral e área que representa a intersecção do pulso com o fundo marinho (OIC, 2013).

O sonar de varrimento lateral transmite pulsos sonoros para ambos os lados da linha de rumo que o barco que reboca este equipamento segue, formando assim um leque perpendicular à direção na qual se desloca o barco (Figura III.7). O comprimento destes raios na direção de movimento é muito pequeno de modo a obter-se uma resolução alta e evitar a introdução de ruído nos dados por parte de fontes estranhas. Perpendicularmente ao movimento do sonar os raios são largos, de modo a cobrir uma maior área possível nesse sentido (Blondel, 2009). Os pulsos acústicos emitidos pelo sonar são refletidos pelo fundo marinho de um modo especular (reflexão semelhante à de um espelho), e por retrodispersão (*backscattering*) (Blondel, 2009; Johnson & Helferty, 1990) (Figura III.9). A distância entre o transdutor até ao fundo marinho que é alvo dos pulsos acústicos tem o nome de *slant-range* (Figura III.8). A distância total perpendicular ao movimento do navio que recebe o pulso acústico é denominada de largura de banda. O ângulo entre a onda e o fundo marinho é o ângulo de incidência. As ondas refletidas são recebidas pelo transdutor, de seguida são amplificadas e por último são enviadas pelo cabo de reboque para o equipamento onde são gravadas.

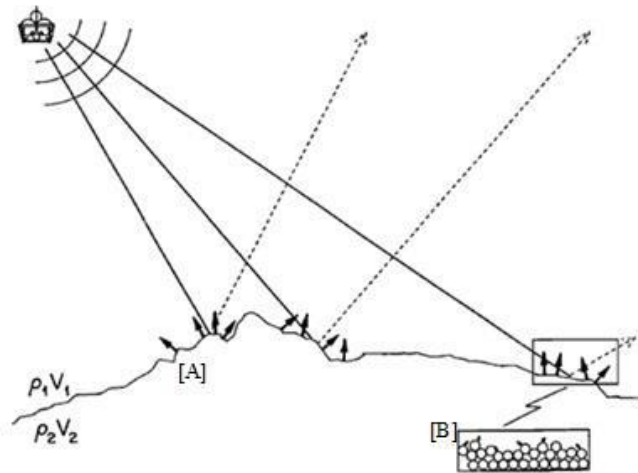


Figura III. 9: Diagrama com o comportamento de um pulso acústico quando interage com o fundo marinho. A energia refletida é uma combinação de energia difratada ou retrodispersada (A) e reflexão especular (B). (Imagem adaptada de Johnson e Helferty, 1990).

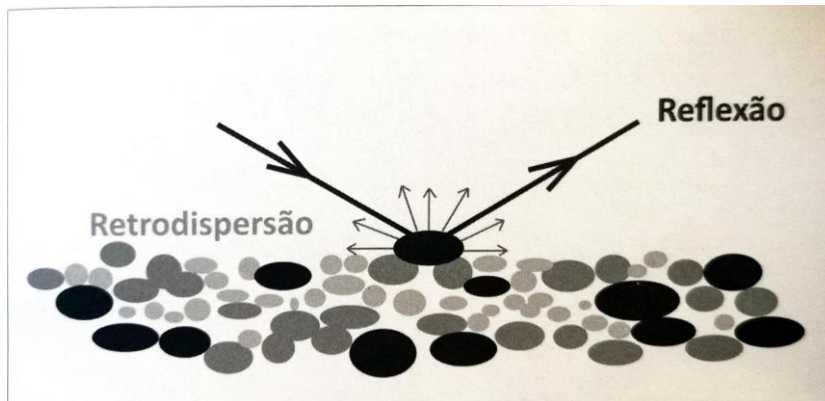


Figura III.10: Reflexão (seta a preto) e retrodispersão ou backscatter (setas cinza) nos sedimentos do fundo, do sinal acústico emitido pelo sonar (adaptado de Mazel, 1985).

Estes sistemas podem operar numa grande escala de frequências que vão desde 1kHz até algumas centenas de kHz. A frequência utilizada vai depender do objetivo para o qual o sistema é utilizado. Altas frequências apresentam um pulso mais curto e por isso maior resolução mas por outro lado tem um alcance mais pequeno e são muito sensíveis ao ruído. Um exemplo de uso de altas frequências (>50kHz) é a cartografia e monitorização de habitats bentónicos (Henriques *et al.*, 2012).

A retrodispersão, ou *backscatter*, é medida em decibéis e pode ser afetada por vários fatores como: a geometria do sistema entre o sensor e o fundo marinho (ângulo de incidência da onda, local, declive, etc), as características físicas da subsuperfície (densidade, velocidade do som, etc) e a natureza intrínseca da superfície (densidade relativa, importância do volume vs. dispersão da frequência escolhida e configuração imagem) (Nishimura, 1997; Blondel, 2009) (Figura III.10 e Figura III.11).

De um modo geral se todos os parâmetros são constantes, os sedimentos mais grosseiros vão apresentar reflexões/retrodispersão com mais energia do que os sedimentos mais finos gerando registros com uma amplitude de sinal mais elevada. As sombras que por vezes são observadas resultam de áreas onde não há reflexão de energia (Figura III.12).

Pode-se então afirmar que uma imagem de sonar de varrimento lateral é uma reflexão de energia acústica do fundo marinho representada em vários tons (Fournier *et al.*, 2010). Normalmente reflexões fortes por parte de rochas, sedimento maior 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 reflexões mais fracas por parte de sedimentos finos ou sombras

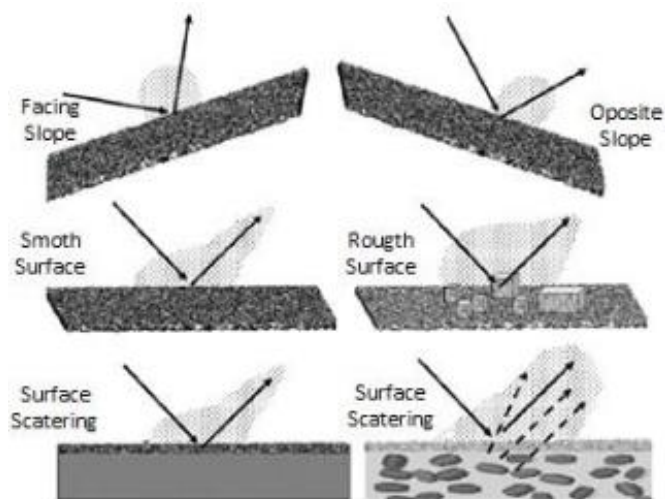


Figura III.11: Principais fatores do fundo marinho que influenciam a reflexão (mancha cinzenta clara). Fundos com inclinação em direção ao sonar produzem mais *backscatter* que fundos com inclinação oposta à localização do sonar (imagem do topo). Superfícies suaves têm tendência a criar um efeito especular, diminuindo assim o *backscatter* recebido comparado com superfícies mais acidentadas (imagem do meio). Contraste da penetração em função da geologia de fundo (imagem de baixo) (adaptado de Blondel, 2009).

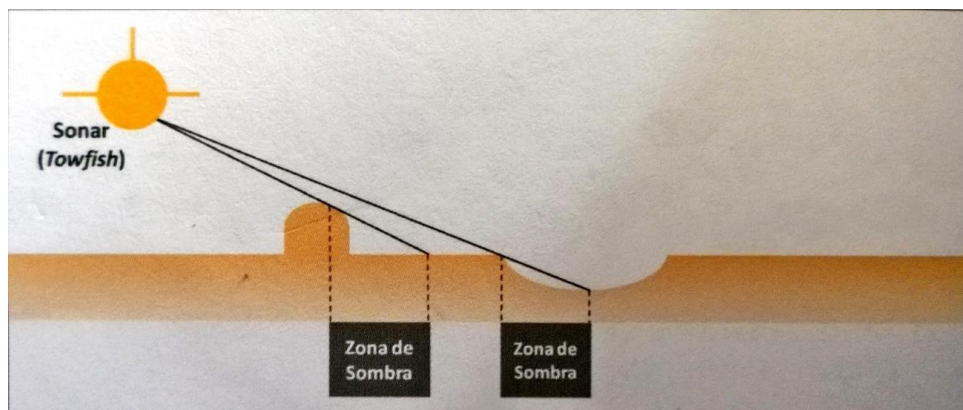


Figura III.12: Diagrama que ilustra a formação das zonas de sombra (Pinheiro et al., 2011).

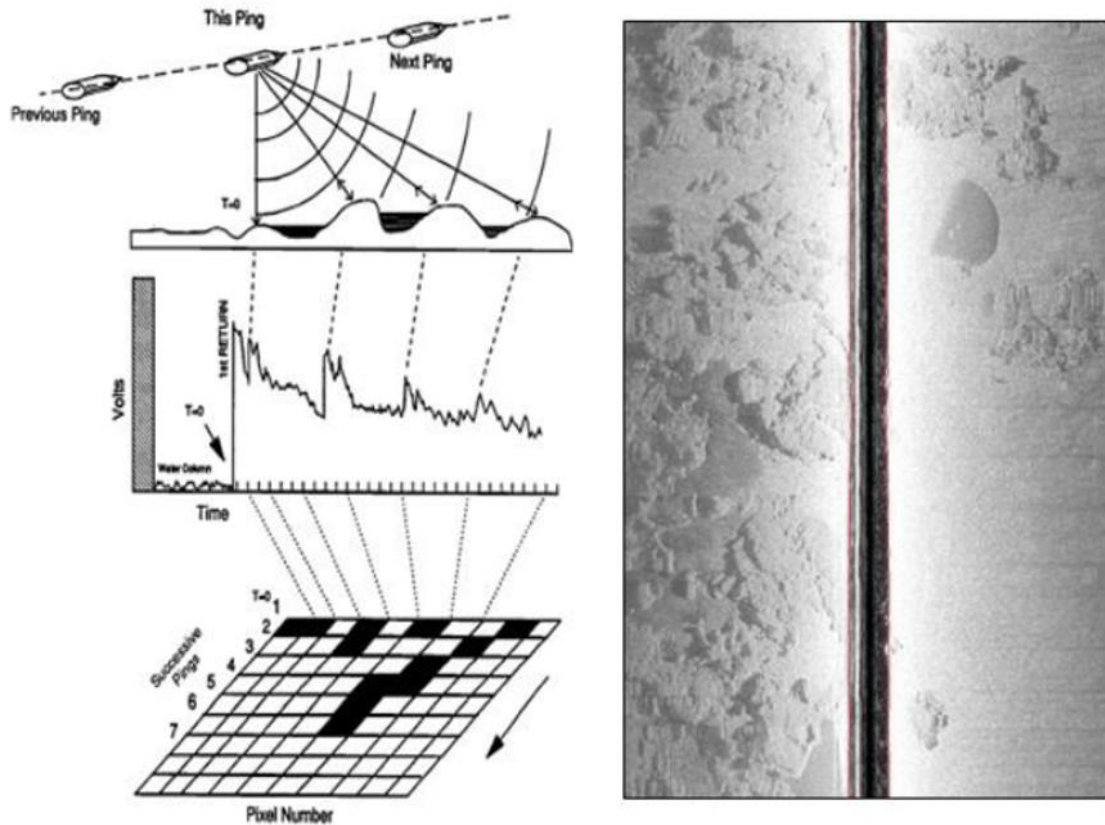


Figura III.13: A esquerda está representado um diagrama que apresenta o processo de formação de uma imagem de sonar de varrimento lateral. No topo do diagrama vemos o pulso acústico que reflete no fundo marinho, depois temos a representação da variação da energia acústica e por último temos a conversão do sinal para valores de pixels que estão representados a preto. (adaptada de Johnson e Helferty, 1990). À direita está um exemplo de uma imagem típica de Sonar de Varrimento Lateral, sem qualquer tipo de processamento.

apresentam-se cores escuras (frequentemente como cinzento-escuro ou preto). A imagem obtida (Figura III. 13) é muito parecida com uma fotografia que pode ser melhorada, modificada e interpretada (Johnson e Helferty, 1990).

A resolução do Sonar de Varrimento Lateral está relacionada com o pulso que este emite, ou seja depende principalmente da forma e comprimento deste pulso. A resolução de qualquer ponto atingido pelo pulso pode ser dividida em duas componentes perpendiculares, a componente paralela ao movimento do sonar e a componente perpendicular ao movimento (Henriques *et al.*, 2012) (Figura III.14 e Figura III.15). A resolução paralela ao movimento depende principalmente da largura do raio acústico Δx , do ângulo horizontal θ e da distância R a que o ponto se encontra do transdutor (Nishimura, 1997; Blondel, 2009) (Eq.5). Depende ainda da frequência dos *pings* e a velocidade a que o sonar é rebocado (Jonhson & Helferty, 1990).

$$\Delta x = R\theta \quad (\text{Eq.5})$$

A resolução perpendicular ao movimento do barco Δy , é uma função que tem como parâmetros, o comprimento de onda τ , a velocidade de propagação do som na água c e o ângulo local entre o fundo e a energia incidente nesse ponto β (Nishimura, 1997; Blondel, 2009) (Eq.6)

$$\Delta y = \frac{c\tau}{2} \times \frac{1}{\cos(\beta)} \quad (\text{Eq.6})$$

Quanto maior for a distância ao nadir e menor o ângulo de incidência (β), maior vai ser a resolução especial, pois Δy vai apresentar valores mais baixos (Figura III.15).

Normalmente para aquisição em água profunda o Sonar é rebocado atrás do navio como podemos ver na Figura III.16. A posição deste durante a aquisição é dada por sistemas de posição geográfica GPS ou DGPS que dão as coordenadas do navio e sabendo o comprimento do cabo (L) e

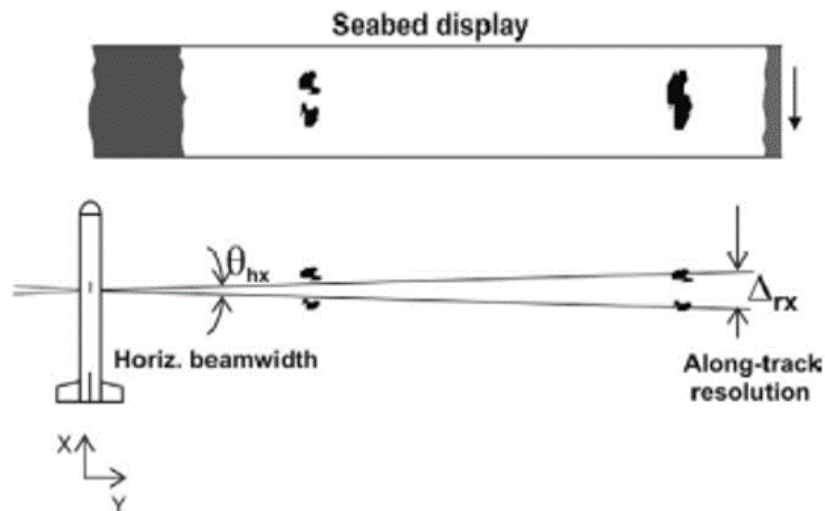


Figura III.14: - Resolução do Sonar de Varrimento Lateral na direção paralela ao movimento deste. A expansão da largura do raio à medida que se afasta do sonar provoca alterações na pegada, e a mudança de dimensão resulta numa diminuição da resolução (Henriques *et al.*, 2012).

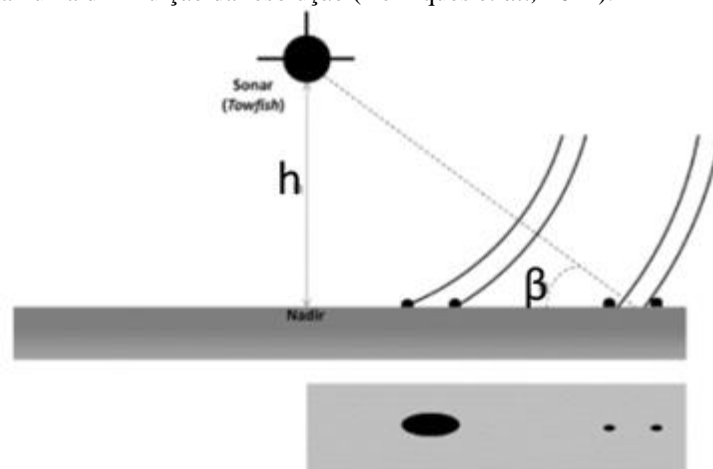


Figura III.15: Resolução perpendicular ao movimento do Sonar de Varrimento Lateral, depende do ângulo β e do comprimento do pulso. (Henriques *et al.*, 2012).

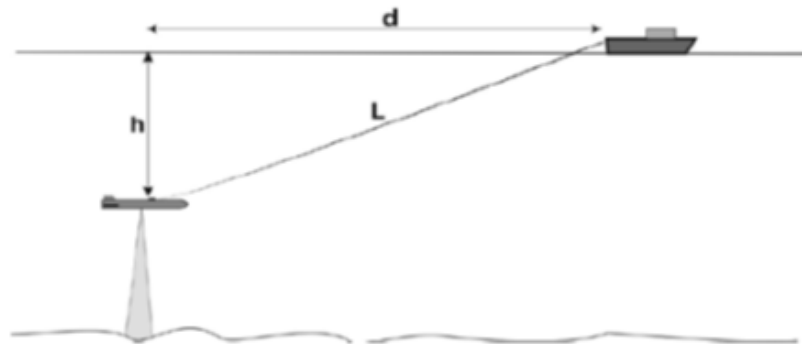


Figura III.16: Configuração do funcionamento de Sonar de Varrimento Lateral estando este a reboque do navio (Henriques *et al.*, 2012).

a profundidade a que o sonar se encontra (h); com estes dados podemos calcular 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 (Henriques *et al.*, 2012). A estimação da distância a que o sonar se encontra da embarcação pode ser obtida recorrendo ao teorema de Pitágoras.

Os dados de Sonar de Varrimento Lateral podem apresentar vários tipos de ruído durante a sua aquisição. Este ruído pode ser causado 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.

O planeamento da campanha é também de grande importância, de modo a otimizar a qualidade dos dados e a cobertura destes (Figura III.17). 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 30-50% de sobreposição entre as linhas (Henriques *et al.*, 2012).

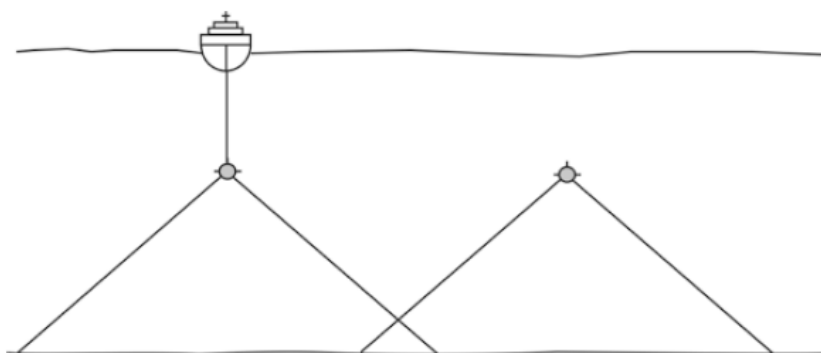


Figura III.17: - Esquema de cobertura total com sobreposição de varrimento (Henriques *et al.*, 2012).

IV. Aquisição e Processamento dos dados Geofísicos e Análise

Granulométrica dos Sedimentos de fundo

IV.1. Levantamentos Geofísicos e Geológicos

Tal como referido no Capítulo 1, os levantamentos geofísicos e geológicos para caracterização dos sedimentos de fundo na área em estudo foram realizados em 2 fases. O primeiro levantamento foi realizado nos dias 9 e 10 de Dezembro de 2014, e o segundo levantamento foi realizado entre 18 e 20 de Setembro de 2015, de forma a analisar as variações do tipo de sedimentos de fundo e a evolução dos padrões de sedimentação entre estas duas datas.

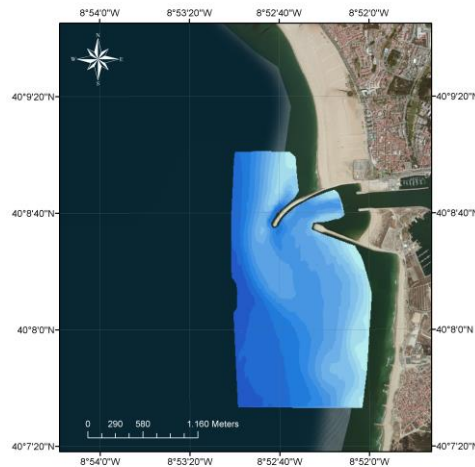
IV.1.1. Preparação e Planeamento dos levantamentos Geofísicos e Geológicos

Como já foi referido, em condições ideais, um bom conjunto de dados de sonar de varrimento lateral tem pelo menos uma sobreposição da cobertura entre linhas consecutivas de 50% (Henriques *et al.*, 2012). A distância máxima que o feixe do sonar atinge vai depender diretamente da profundidade a que se encontra o fundo marinho, sendo esta distância em geral cerca de dez vezes superior à profundidade (Wen-Miin Tian, 2011; Henriques *et al.*, 2012).

Assim, de modo a obter uma boa cobertura de sonar de varrimento lateral foi necessário proceder ao planeamento dos levantamentos geofísicos no *software* ArcGis da empresa ESRI. Uma vez que não estavam disponíveis levantamentos batimétricos realizados no ano de 2014 que abrangessem toda a área de estudo, compilaram-se uma série de levantamentos batimétricos realizados pela Administração do Porto da Figueira da Foz nos últimos anos, de modo a tentar determinar o melhor possível a batimetria da zona de estudo. Chegou-se à conclusão que o levantamento batimétrico que melhor cobria a área de estudo foi realizado em dezembro de 2013 (Figura IV.1).

De seguida, tendo em conta a batimetria da região, projetaram-se as linhas com direção Norte-Sul (paralelas à costa). Uma vez que a batimetria na zona de estudo apresenta variações na ordem dos 10 metros foi necessário criar um conjunto de linhas com diferentes espaçamentos entre si para se obter uma cobertura de 50%. Os valores do espaçamento variam entre 30 a 130 metros. A distância relativamente às linhas vizinhas, das linhas que cruzam várias curvas batimétricas, foi calculada tendo em conta o valor de profundidade mais pequeno. Posteriormente, projetaram-se as linhas perpendiculares à costa. Neste caso optou-se por definir uma distância fixa de 200m entre cada linha, uma vez que não se pretende utilizar estas linhas para o levantamento do sonar de

30| Aquisição e Processamento dos dados Geofísicos e Análise Granulométrica dos Sedimentos de fundo



varrimento lateral, mas sim para obter uma boa cobertura de linhas de reflexão sísmica. No total foram definidas 46 linhas (Figura IV.2).

Relativamente à amostragem de sedimentos, concluiu-se que não existia informação suficiente para definir *a priori* a sua localização. Assim, esta iria ser definida tendo em conta a visualização dos dados de sonar de varrimento lateral obtidos durante as campanhas, para garantir a representatividade das amostras e que sejam amostrados os principais tipos de sedimentos.

IV.1.2. Levantamento Geofísico e Geológico FFOZ_2014 e FFOZ_2015

O equipamento utilizado em ambos os levantamentos foi um sistema integrado que combina

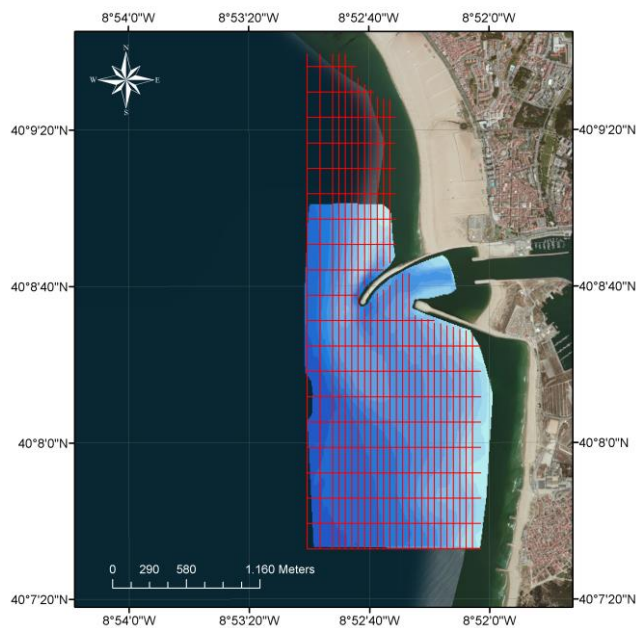


Figure IV.2: Linhas planeadas recorrendo ao software ArcGis para o levantamento FFOZ_2014.

Aquisição e Processamento dos dados Geofísicos e Análise Granulométrica dos Sedimentos de fundo| 31

um sonar de varrimento lateral de dupla frequência (100 e 400kHz), com um sistema de reflexão sísmica de muito alta resolução *Chirp* Sonar que opera numa gama de frequências entre 0.5 e 12kHz, modelo *Edgetech 512i* do Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha do Laboratório Associado CESAM e do Departamento de Geociências, da Universidade de Aveiro (Figura IV.3).

As especificações técnicas deste equipamento podem ser consultadas no Anexo I. O posicionamento de todos os dados adquiridos foi obtido com um GPS diferencial (DGPS) do Laboratório de Geofísica e Geologia Marinha, da Universidade de Aveiro. As coordenadas espaciais foram gravadas diretamente nos ficheiros dos dados geofísicos.

Em ambas as campanhas o equipamento foi operado com as mesmas frequências. O sonar de varrimento lateral foi operado em dupla frequência 100kHz e 400kHz. No levantamento de reflexão sísmica de alta resolução, o *Chirp* foi operado na gama de frequências de 0.5-7kHz, o que representa um bom compromisso entre uma boa resolução nas camadas sedimentares e uma penetração de investigação adequada. Os perfis de sísmica de alta resolução foram adquiridos em simultâneo com o levantamento de sonar de varrimento lateral, sendo por isso as linhas coincidentes. Durante a aquisição os dados geofísicos foram gravados em formato digital proprietário da *Edgetech*, “*JSF*” e “*XTF*”.

A bordo da embarcação, de modo a seguir o rumo de cada linha planeada, utilizou-se o *software* ArcPad da ESRI, onde se projetaram as linhas e onde foi possível visualizar a posição do GPS, consequentemente da embarcação, em tempo real (Figura IV.4).



Figure IV.3: Sistema integrado Edgetech 512i, da Universidade de Aveiro, que combina um sonar de varrimento lateral de dupla frequência (100 e 400kHz), com um sistema de reflexão sísmica *Chirp* Sonar (0.5 e 12kHz).

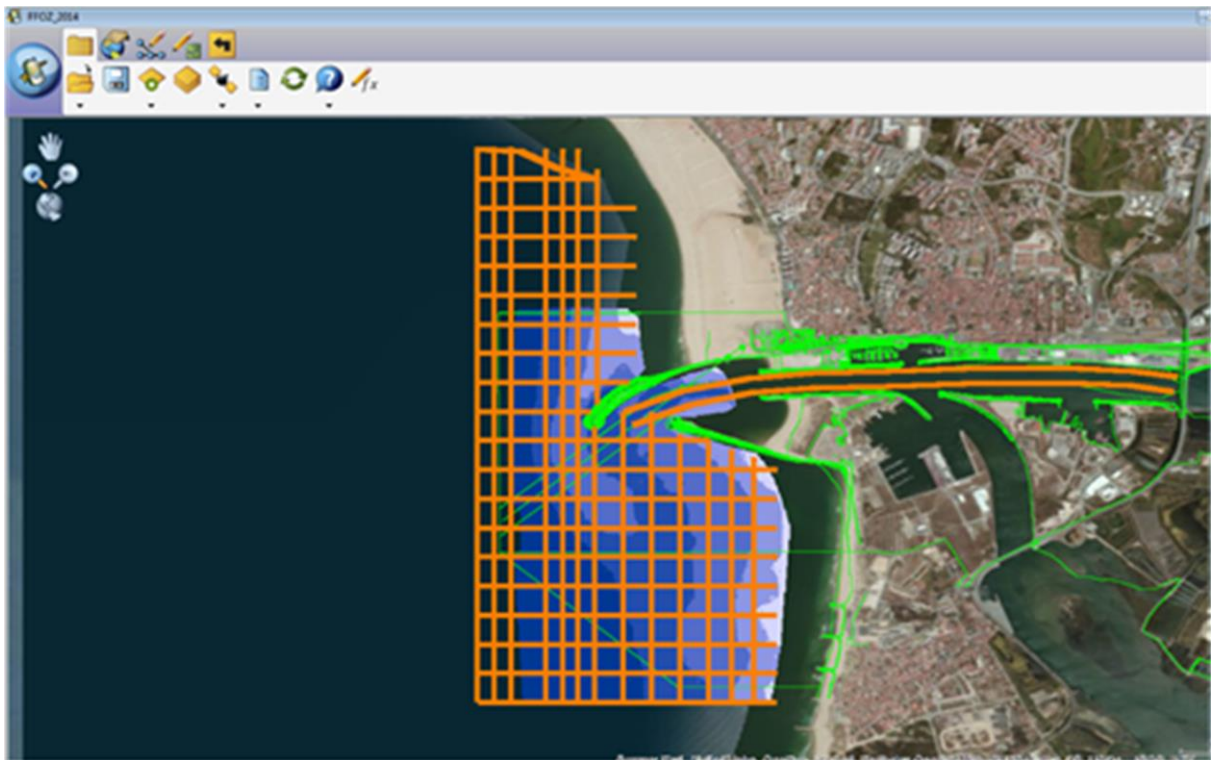


Figura IV.4: *Software ArcPad com o planeamento do levantamento geofísico FFOZ_2015 que foi usado a bordo da embarcação durante este.*

IV.1.2.1. Levantamento FFOZ_2014

O primeiro levantamento geofísico e geológico da área em estudo (FFOZ_2014) foi realizado a bordo da embarcação “Medroa”, Lancha dos Pilotos da APFF (Figura IV.5a), entre 9 e 10 de dezembro de 2014. Ao longo da campanha tentou-se que a embarcação mantivesse uma velocidade constante de 3 a 4 nós e um rumo constante, mas devido às condições de ondulação foi uma tarefa muito difícil de realizar. O equipamento foi rebocado a uma distância de cerca de 5m à ré, como se pode ver na Figura IV.5b. O sistema foi suspenso a partir da superfície por uma defesa, sendo rebocado imerso a uma profundidade aproximada de 1.5m.

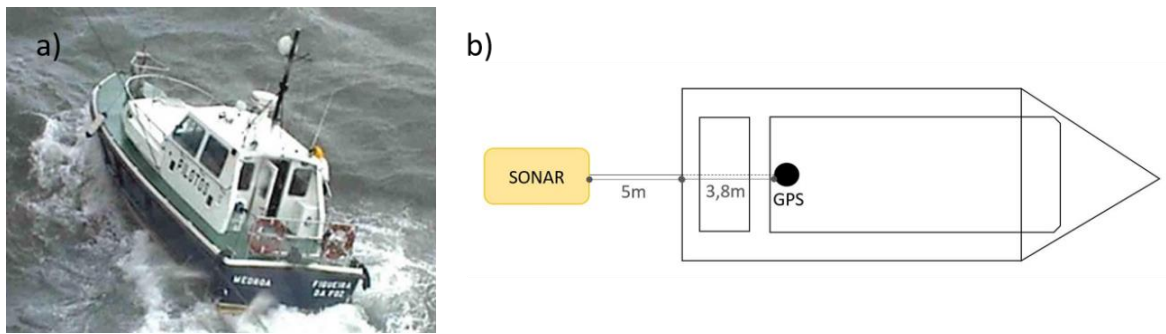


Figura IV.5: a) Embarcação Medroa da Administração do Porto da Figueira da Foz a bordo do qual foi efetuado o levantamento geofísico FFOZ_2014; b) representação esquemática da geometria de aquisição dos dados geofísicos do levantamento geofísico FFOZ_2014.

Apesar de o estado do mar na primeira parte do 2º dia não ter sido a ideal, e de não ter sido possível prolongar a campanha para o dia 11 como inicialmente previsto, devido às condições de mar terem piorado, foi mesmo assim possível obter uma cobertura total da área a investigar com sonar de varrimento lateral de bastante boa qualidade. Foi também possível adquirir uma malha adequada de linhas de reflexão sísmica para a caracterização dos sedimentos em profundidade, sendo no entanto a qualidade destas últimas não muito boa. Devido às condições de agitação

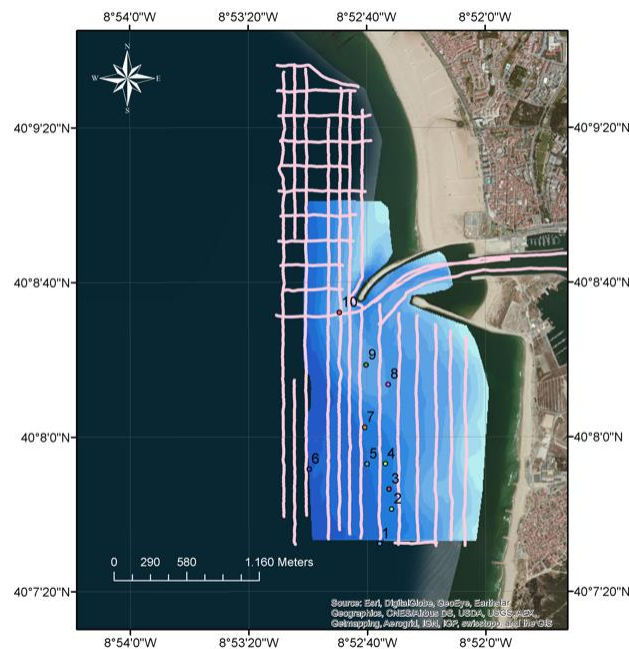


Figura IV.6: Campanha geofísica e de amostragem de sedimentos realizada na área do Porto da Figueira da Foz, nos dias 9 e 10 de Dezembro de 2014. A verde estão representadas as linhas de sonar de varrimento lateral e de reflexão sísmica de alta resolução realizadas no offshore; a laranja as linhas adquiridas na zona portuária. Os pontos coloridos indicam os locais de amostragem e o tipo de sedimentos recolhidos.

34| Aquisição e Processamento dos dados Geofísicos e Análise Granulométrica dos Sedimentos de fundo

marítima e climatéricas apenas foi adquirido um total de 27 linhas de sonar de varrimento lateral e de sísmica de alta resolução – *Chirp* Sonar (Figura IV. 6), ao contrário das 46 planeadas, mas garantindo uma cobertura total da área em estudo. Com base numa interpretação preliminar dos dados de sonar de varrimento lateral a bordo, foi ainda planeada e executada a campanha de amostragem de sedimentos, tendo sido colhidas 10 amostras de sedimentos de fundo (ver localização na Figura IV.6) com um amostrador tipo *Petit Ponar*. As condições desfavoráveis do mar não permitiram a colheita de amostras na zona norte da área de estudo nos dias seguintes, foi possível realizar apenas na 2ª campanha, em 2015.

IV.1.2.2. Levantamento FFOZ_2015

O segundo levantamento geofísico foi realizado a bordo da embarcação “*Ecoalgaventura*”, entre 18 e 20 de Setembro de 2015. Este levantamento, inicialmente previsto para ser executado em Maio de 2015, teve que ser adiado para estas datas, devido a problemas com a embarcação da Administração do Porto da Figueira da Foz. O equipamento foi rebocado ao centro da embarcação, a uma distância de cerca de 11m à ré (Figura IV.7). O sistema foi suspenso por uma defesa, sendo rebocado imerso a uma profundidade aproximada de 1.5m. Ao longo da campanha tentou-se que a embarcação mantivesse uma velocidade constante de 3 a 4 nós. Verificou-se que durante a aquisição o sonar se manteve quase sempre na posição apresentada na Figura IV.7, apesar de ter sido rebocado a partir de bombordo.

No primeiro dia (dia 18) não foi possível adquirir dados, devido ao mau estado do mar. No 2º dia foi adquirido um total de 37 linhas de sonar de varrimento lateral e sísmica de alta resolução (Figura IV.8). Foram ainda recolhidas 36 amostras sedimentares, dez das quais foram adquiridas nos mesmos locais da amostragem da primeira campanha; a localização das restantes amostras foi

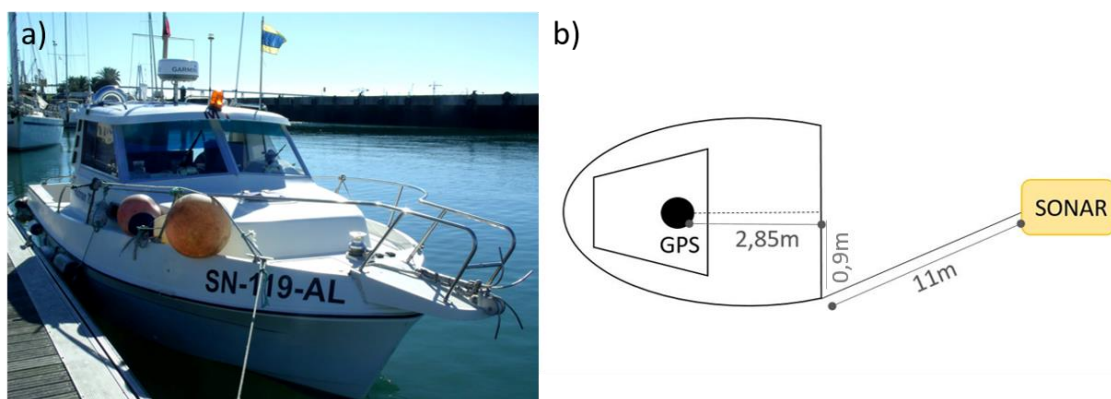


Figura IV.7: a) Embarcação *Ecoalgaventura* a bordo do qual foi efetuado o levantamento geofísico FFOZ_2015; b) representação esquemática da geometria de aquisição dos dados geofísicos do levantamento geofísico FFOZ_2015.

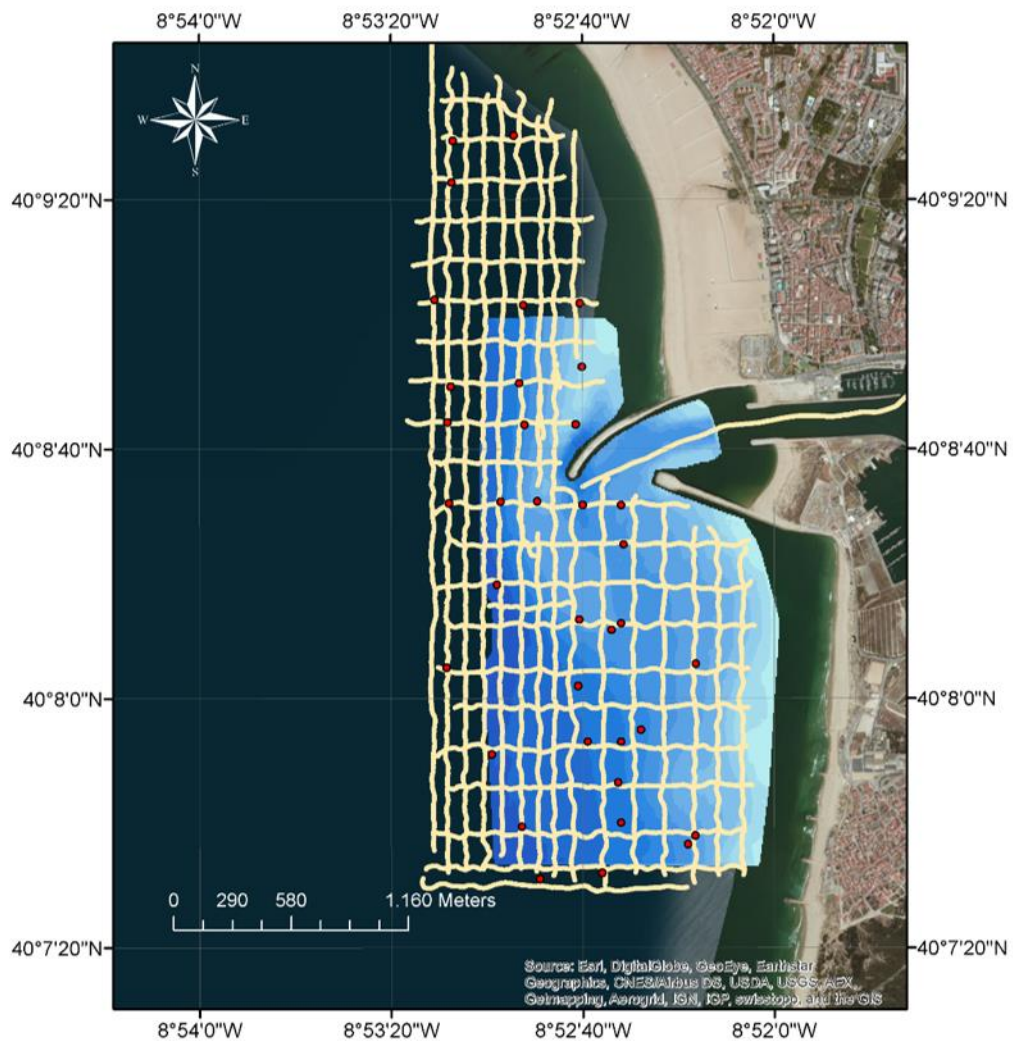


Figura IV.8: Campanha geofísica e de amostragem de sedimentos realizada na área do Porto da Figueira da Foz, nos dias 18, 19 e 20 de setembro de 2015. As amarelo estão representadas as linhas de sonar de varrimento lateral e de reflexão sísmica de alta resolução realizadas no offshore. Os pontos vermelhos indicam os locais de amostragem.

escolhida recorrendo aos dados já processados do primeiro levantamento e à interpretação preliminar dos dados dados de sonar de varrimento lateral a bordo, durante a sua aquisição. O equipamento utilizado para esta recolha foi o mesmo colhedor de amostras *Petit Ponar* que foi utilizado no primeiro levantamento.

IV.2. Processamento de Dados de Sonar de Varrimento Lateral

De modo a obter uma boa imagem do fundo marinho é necessário processar os dados de Sonar de Varrimento Lateral antes de fazer a sua interpretação, de modo a corrigir as várias distorções que afetam os dados adquiridos. As distorções presentes nos dados podem ser causadas por vários motivos: instabilidade do sonar, variação na velocidade de deslocação da embarcação, distorções geométricas e distorções radiométricas.

O primeiro aspeto a ter em conta é o movimento do sonar (*Yaw, Heave, Roll e Pitch*) durante a aquisição (Figura IV.9), pois estes movimentos são instabilidades que são responsáveis pela distorção da imagem do sonar. Por esse motivo antes de ser considerado qualquer outro tipo de interferência é necessário corrigir os dados para as variações de atitude do sonar e para as variações de navegação. Esta correção consiste na compensação das variações do movimento do sonar de modo a tornar a imagem obtida o mais real do fundo marinho.

As distorções geométricas correspondem a diferenças na localização relativa das estruturas observadas na imagem de varrimento e na realidade (Pinheiro et al., 2011) (Figura IV.10). As alterações que ocorrem podem ter várias causas. Uma destas distorções está relacionada com a distância oblíqua ou *slant-range* (Figura IV. 10). A distância entre estruturas perpendiculares ao

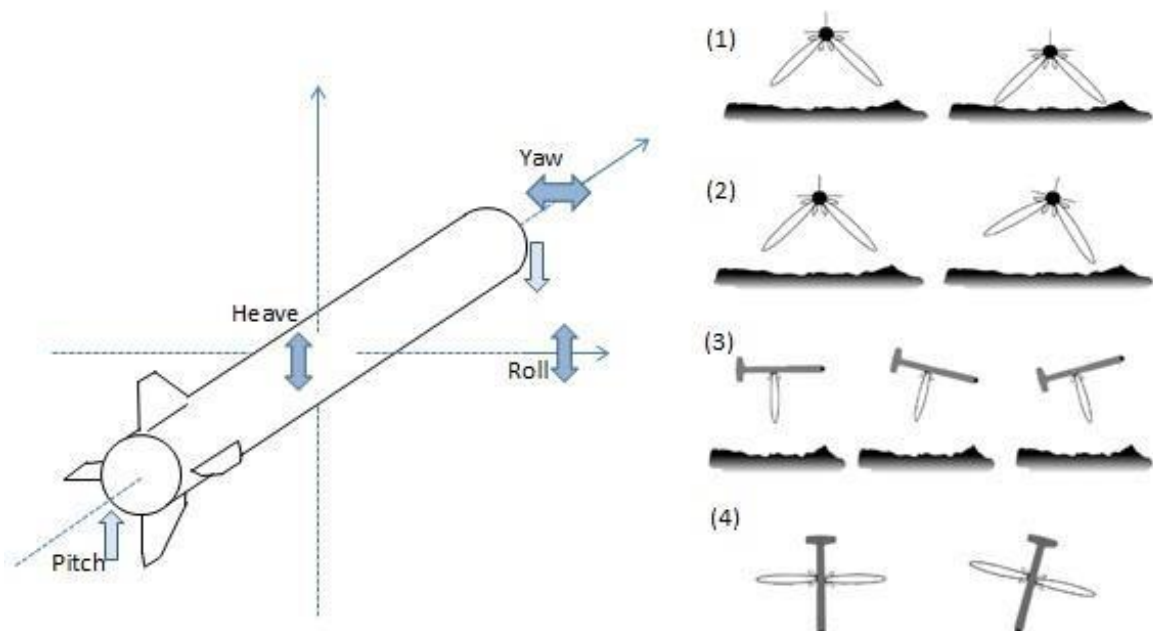


Figura IV.9: As variações de atitude do sonar. (1) *heave* (movimento vertical devido à ação da ondulação); (2) *roll* (movimento estibordo-bombordo) ; (3) *pitch* (cabeceamento) e (4) *yaw* ou *heading* (movimento em torno do eixo zz) (adaptado de Blondel, 2009).

movimento da embarcação são mediadas com recurso ao tempo de ida e volta do pulso, sendo assim medida uma distância oblíqua e não uma distância horizontal no terreno, que corresponde à distância real. Na Figura IV. 10 estão representados dois pares de pontos que se encontram à mesma distância entre si, D_1-D_2 e D_3-D_4 . Uma vez que o par D_1-D_2 se encontra perto do sonar, as distâncias oblíquas (R_1 e R_2) vão ser muito semelhantes. Por outro lado o par D_3-D_4 encontra-se mais afastado do sonar e por essa razão as distâncias oblíquas associadas a esses pontos (R_3 e R_4) vão ser relativamente diferentes, o que se traduz numa distância relativa aparente incorreta. Assim os pontos D_3-D_4 vão aparentar uma distância relativa superior à distância entre os pontos D_1-D_2 , quando na realidade estes se encontram à mesma distância entre si (Blondel, 2009). A correção a aplicar nestes casos de distorção consiste em reposicionar os pixéis da imagem de sonar de varrimento lateral, da sua posição aparente para a sua posição real (Eq.7). Para tal calcula-se a distância real no terreno (D_i) recorrendo ao tempo de ida e volta do pulso (T_i), à velocidade de propagação do som na água (c) e à altura a que se encontra o sonar do fundo marinho (h) (Eq.7):

$$D_i = \sqrt{\left(\frac{cT_i}{2}\right)^2 - h^2} \quad (\text{Eq.7})$$

Outra distorção que é necessária corrigir é a remoção da coluna de água. Os sistemas de sonar de varrimento lateral começam a gravar os dados no momento em que a onda acústica é emitida, o que gera a representação da coluna de água em ambos os lados do nadir.

As alterações radiométricas devem-se às perdas de amplitude que ocorrem à medida que o ponto de reflexão se vai afastando do sonar na horizontal devido a perdas de energia geométricas (a energia vai se distribuindo por uma área cada vez maior) e a perdas por absorção. Assim, as

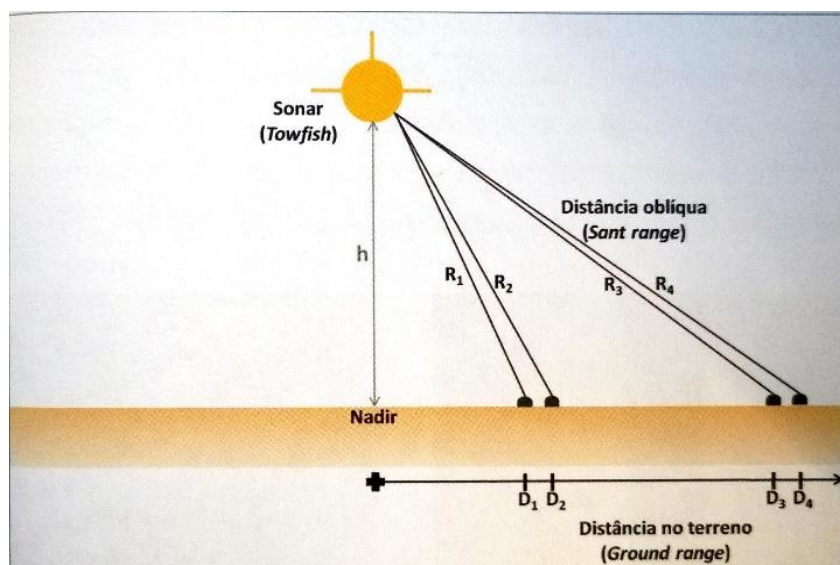


Figura IV.10: Distorção provocada pela distância oblíqua (slant-range) (adptado de Blondel, 2009).

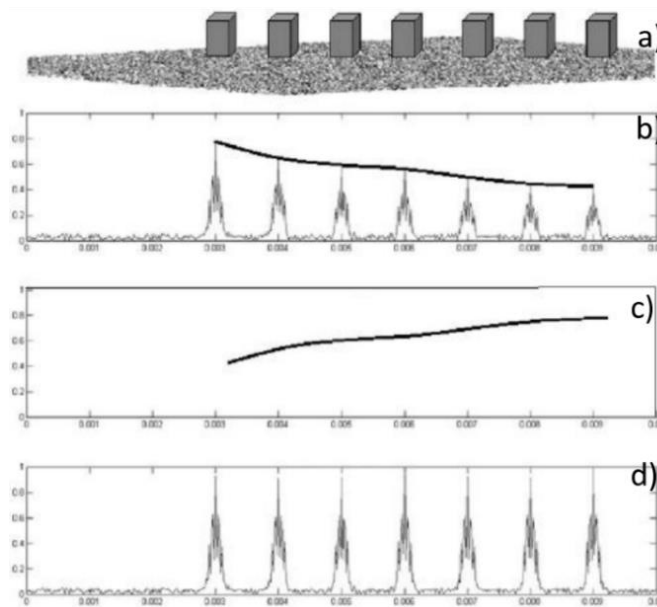


Figura IV.11: O princípio do TVG demonstrado numa série de alvos idênticos mas a distâncias diferentes do sonar. a) Geometria real dos alvos; b) A diminuição do *backscatter* devido à absorção de energia e ao aumento da distância horizontal entre os diferentes pontos e o sonar; c) Função de ganho TVG necessária aplicar de modo a contrariar a função de perda de energia; d) Sinal resultante da aplicação do TVG que apresenta um *backscatter* idêntico entre todos os alvos tal como as suas propriedades reais (adaptado de Blondel, 2009).

imagens de sonar de varrimento lateral apresentam maiores amplitudes perto do nadir e uma resposta mais fraca de modo a corrigir esta perda de amplitude e atribuir o verdadeiro valor a estes pixels, recorre-se a um *Time Varying Gain (TVG)* (Figura IV.11). Este ganho permite uma equalização da iluminação dos pixels ao longo de toda a área que os raios abrangem (Chavez, 1986; Reed and Hussong, 1989).

Processamento de Dados da Capmanha FFOZ 2014 e FFOZ 2015

Os dados de Sonar de Varrimento Lateral foram processados no *software Triton Perspective* da Companhia ECA Group (Figura IV.12). Os principais passos no processamento destes dados foram a correção da navegação, a correção do *slant-range*, o ajuste da curva de variação temporal de ganho (TVG) e por último a criação de um mosaico. As correções para os movimentos do navio foram aplicadas diretamente durante a aquisição através de sensores integrados no equipamento.

Correção da Navegação

Tal como foi descrito anteriormente o primeiro passo realizado no processamento dos dados de sonar de varrimento lateral foi a correção da navegação. A correção da navegação irá homogeneizar a distribuição de *pings* ao longo de uma linha. Neste caso os raios vão estar representados a vermelho e verde (Figura IV. 14). De modo a realizar este processo recorreu-se a

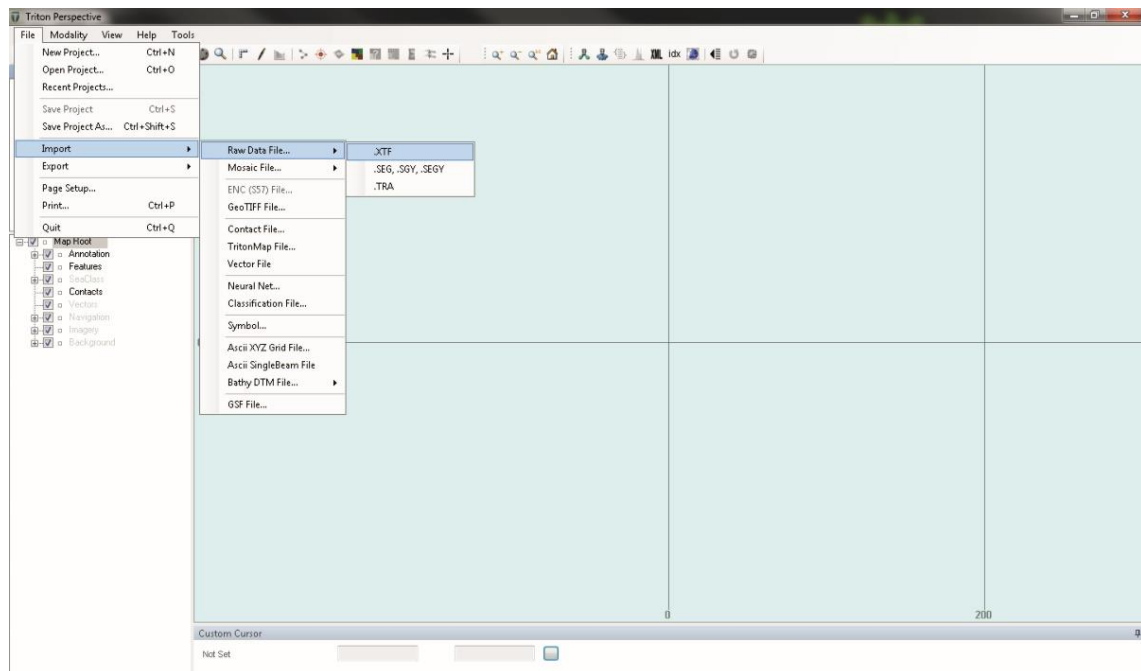


Figura IV.12: Plataforma de trabalho do software Triton Perspective.

um filtro *Boxcar* de modo a remover irregularidades e assim melhor aproximar a posição do “peixe” à sua posição real. Para obter dois mosaicos comparáveis dever-se-ia aplicar o mesmo filtro às linhas adquiridas em ambas as campanhas. No entanto uma vez que foram realizadas em embarcações diferentes e condições marítimas muito distintas, os filtros aplicados para a navegação tiveram valores diferentes. Os parâmetros aplicados às linhas adquiridas na campanha FFOZ_2014 utilizaram um tamanho de janela de 30 e apenas se realizou uma iteração. No processamento da navegação das linhas adquiridas na campanha FFOZ_2015 aplicou-se um filtro

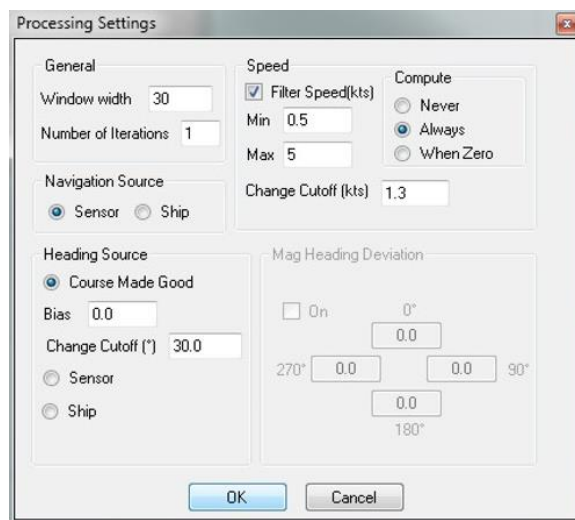


Figura IV.13: Valores utilizados na correção da navegação das linhas da campanha FFOZ_2014.

40| Aquisição e Processamento dos dados Geofísicos e Análise Granulométrica dos Sedimentos de fundo

com uma janela de 60 e realizou-se apenas uma iteração. O resto dos valores utilizados foram iguais para ambas as campanhas (Figura IV.13).

Na Figura IV.14 podemos ver as diferenças entre pré e pós-correção da navegação da linha NS_45.

Correção do *Slant Range*

Este processo tem como objetivo remover as distorções geométricas causadas pelo perfil oblíquo que se forma entre o transdutor e o ponto de reflexão, ou seja a correção da posição dos diferentes pixéis da imagem. Para realizar este processo a correção do *slant range* remove a coluna de água (Figura IV.15). Em alguns casos o sonar tem um sensor de profundidade integrado e realiza este processo automaticamente, não sendo este o caso foi necessário realizar um *bottom tracking* (Figura IV. 16) para remover a coluna de água. De modo a realizar esta operação recorreu-se ao modo de visualização *waterfall* (Figura IV.15).

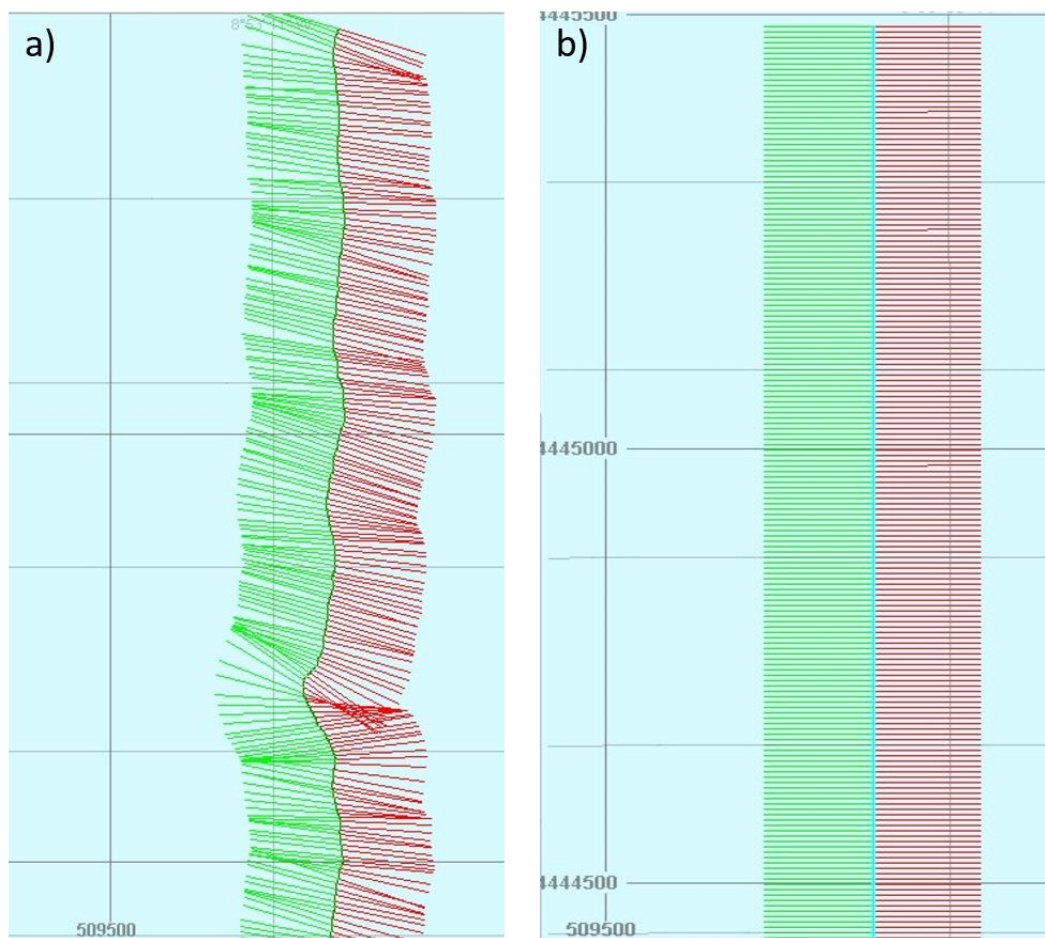


Figura IV.14: a) Navegação da linha NS_45 antes da correção; b) Navegação da linha NS_45 após a correção da navegação. Parece ter sido demasiado corrigido.

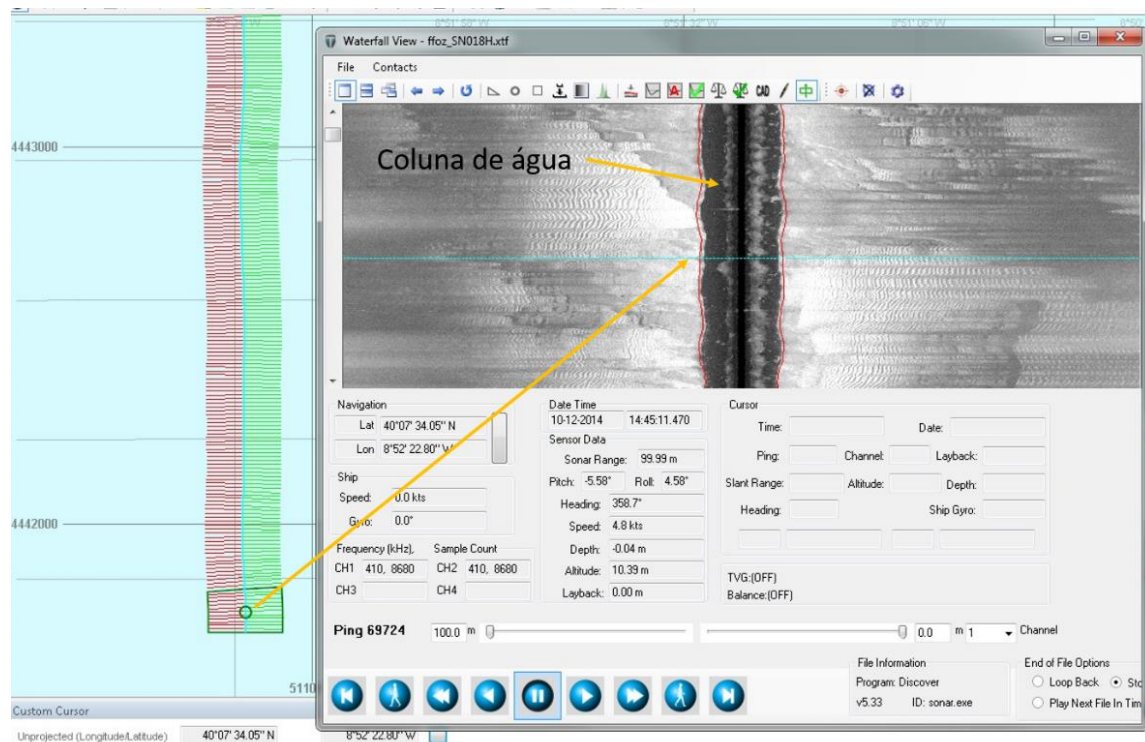


Figura IV.15: Exemplo do modo de visualização *waterfall* no *software Triton Perspective*. A linha a vermelho representa o *bottom tracking* realizado (Figura IV.16).

Para realizar o *bottom tracking* começou-se por realizar um processo automático. No entanto, dadas as condições de ondulação do local de estudo, que não se demonstraram ideais em ambas as campanhas realizadas, os resultados obtidos não se demonstraram satisfatórios. Realizou-se por isso este processo manualmente (Figura IV. 16).

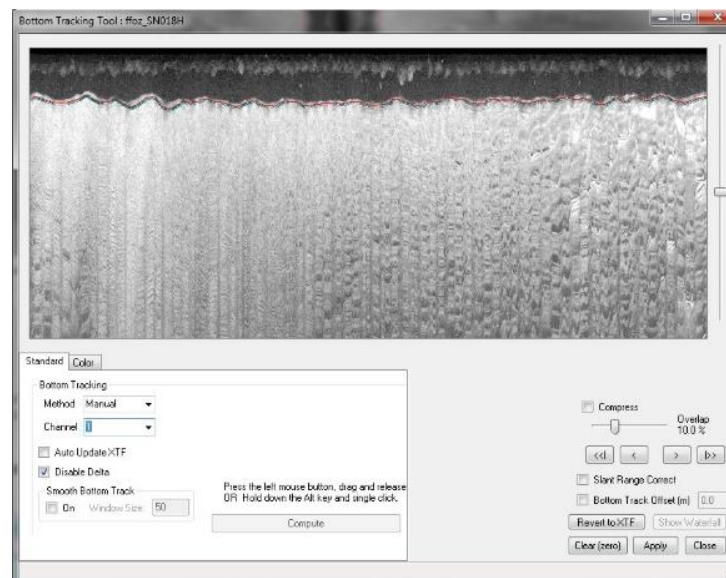


Figura IV.16: - Exemplo de um *bottom tracking* realizado.

42| Aquisição e Processamento dos dados Geofísicos e Análise Granulométrica dos Sedimentos de fundo

Na Figura IV. 17 podem-se ver as diferenças, no modo *watterfall*, do perfil da linha de sonar de varrimento lateral SN_18.

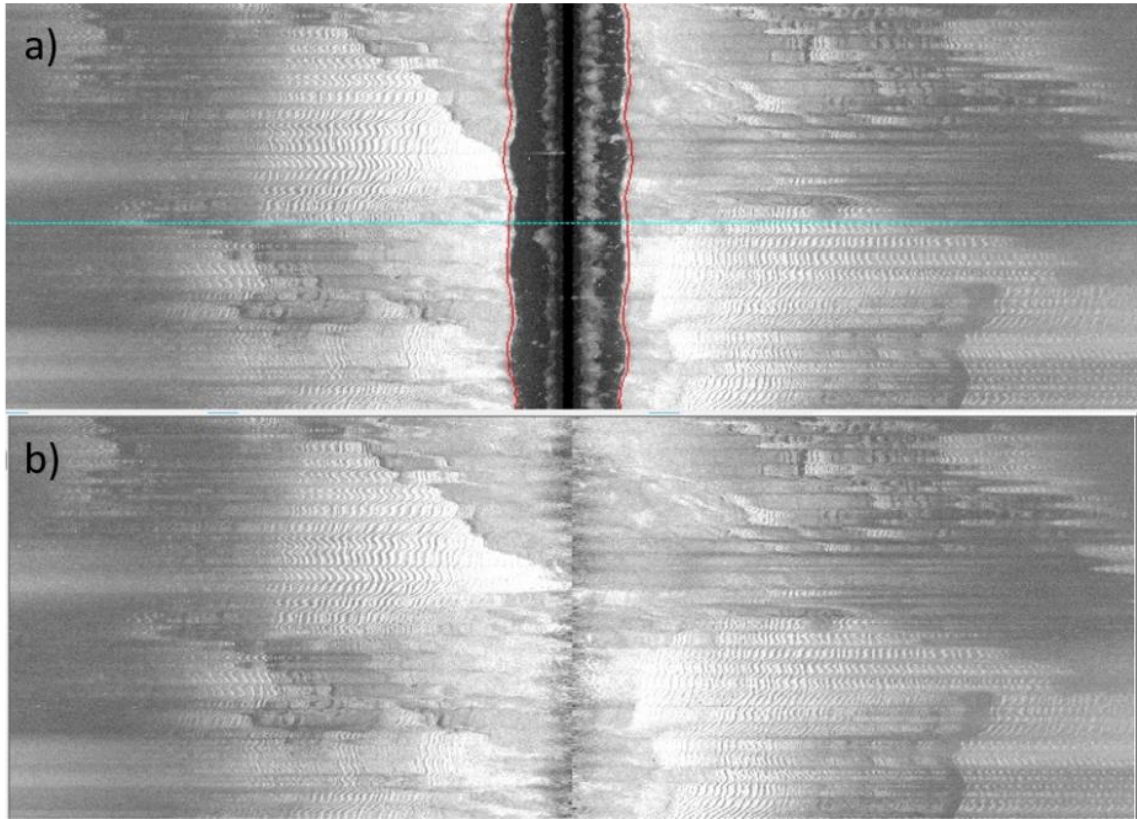


Figura IV.17: Visualização no modo *Waterfall* da linha SN_18 a) antes da correção do *slant range* b) após a correção do *slant range*.

Ajuste da curva de ganho temporal (TVG)

Como foi dito anteriormente o ajuste do TVG tem como objetivos compensar a perda de amplitude na horizontal e corrigir a diferença de luminosidade entre os pontos mais perto e mais distantes do sonar. Para realizar este ajuste foi necessário criar uma curva de ganho temporal para cada mosaico (Figura IV. 18). É de salientar que para cada mosaico só se pode aplicar uma curva, por esse motivo foi preciso procurar criar uma curva que apresentasse o melhor resultado possível para as diversas linhas que compõem cada mosaico. No entanto não foi possível e para algumas linhas a curva utilizada não foi a que apresentou melhores resultados. Inicialmente criou-se uma curva automática mas, dado que esta não apresentava os resultados mais satisfatórios, optou-se por criar uma curva manualmente de modo a obter os melhores resultados possíveis.

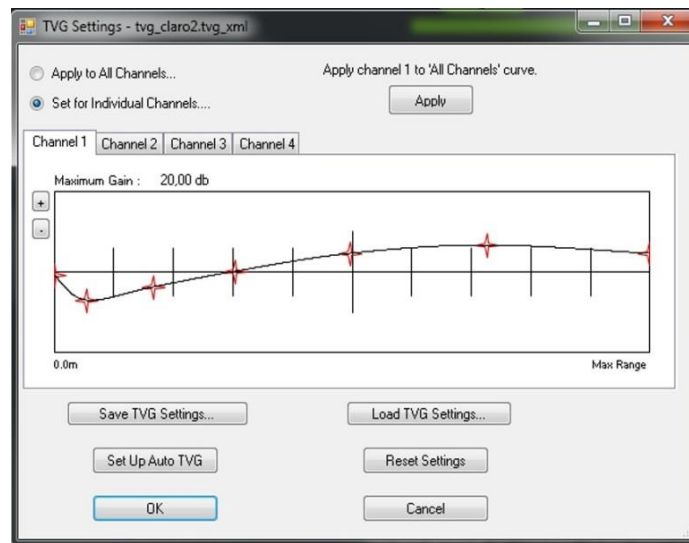


Figura IV.18: Curva TVG aplicada para a construção do mosaico da campanha FFOZ_2014.

Na Figura IV. 19 pode-se comparar, no modo de visualização *waterfall*, as diferenças que a curva de ganho provoca na linha SN_18.

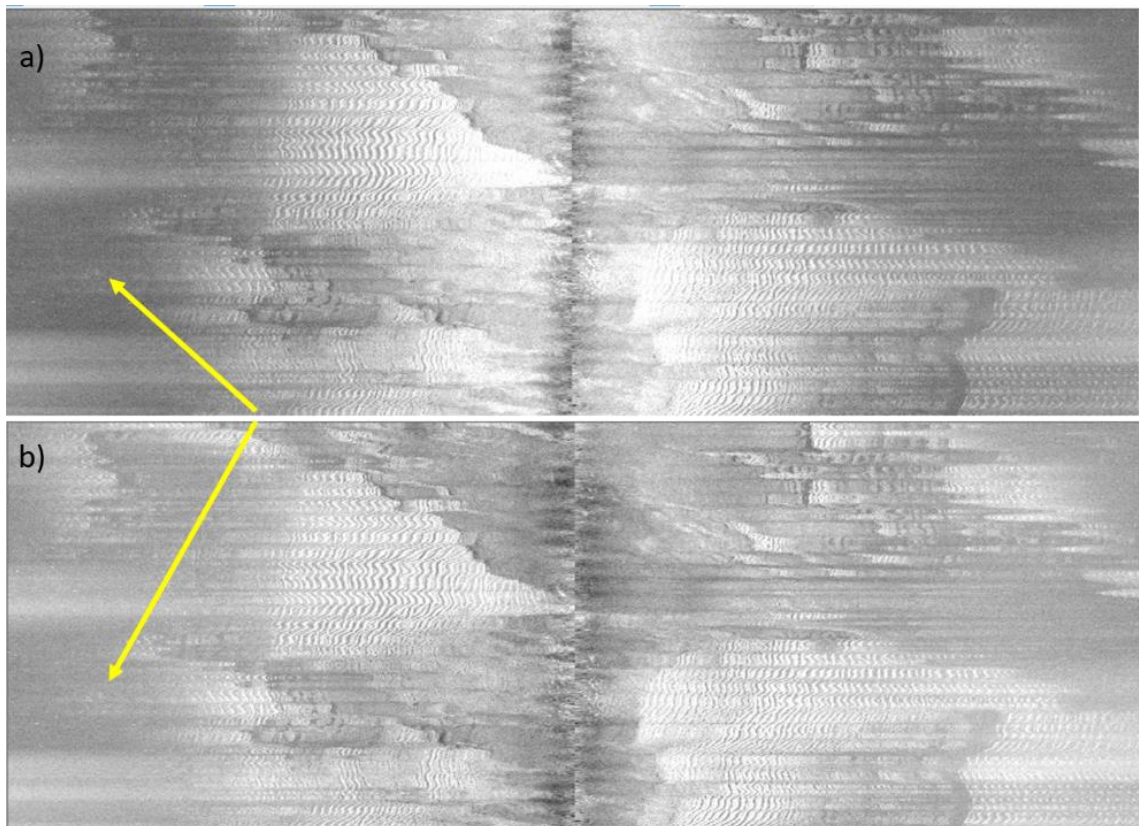


Figura IV.19: Comparação entre a) antes da aplicação do ajuste TVG e b) após a aplicação do ajuste TVG. Sinalizado pelas setas está um exemplo das alterações provocadas por este ajuste.

44| Aquisição e Processamento dos dados Geofísicos e Análise Granulométrica dos Sedimentos de fundo

Criação do Mosaico

O mosaico de sonar de varrimento lateral consiste na junção de todos os traços adjacentes de linhas paralelas numa só imagem. É de salientar que para este processo apenas se utilizaram as linhas paralelas à costa e consequentemente paralelas entre si. De modo a criar o mosaico foi necessário definir uma série de parâmetros como a resolução do respetivo mosaico e o *offset* entre a embarcação e o sonar (Figura IV. 20a e b). Foi preciso inserir outros parâmetros que já estavam definidos como a navegação e a curva TVG (Figura IV. 20c).

Na Figura IV. 21 apresenta-se o resultado final (mosaicos) do processamento dos dados de sonar de varrimento lateral.

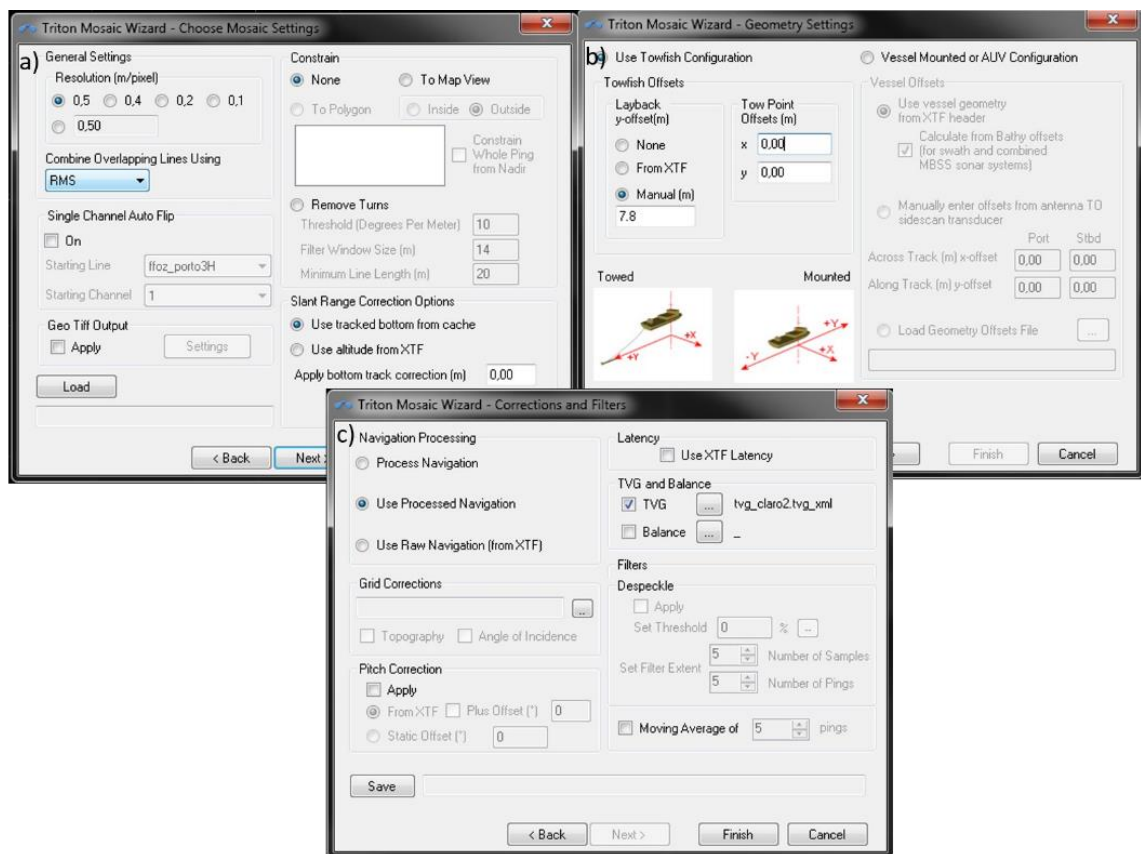


Figura IV.20: Diferentes passos na criação do mosaico no *software Triton Prespective*.



Figura IV.21: Mosaicos de sonar de varrimento lateral obtidos após o processamento realizado. À esquerda o mosaico do levantamento FFOZ_2014 e à direita o mosaico do levantamento FFOZ_2015.

Uma vez que um dos objetivos deste trabalho é a comparação entre os dois mosaicos das duas campanhas teve-se o cuidado de recorrer à ferramenta *Histogram* e ajustar as escalas de cinzentos de modo a que ambos os mosaicos apresentem o mesmo valor absoluto mínimo e máximo da escala de cinzentos.

IV.3. Processamento de Dados de Reflexão Sísmica (*Chirp* Sonar)

O principal objetivo do processamento de dados sísmicos é a manipulação dos dados brutos recolhidos de modo a transformá-los numa secção horizontal que represente coerentemente os horizontes geológicos presentes na sub-superfície. Devido a vários fatores, os dados originais normalmente contêm ruído e a sua interpretação vai depender bastante do processamento realizado (Hatton et al., 1986). Por esse motivo o estudo de dados de reflexão sísmica tem sempre três processos: aquisição, processamento e interpretação dos dados. O processamento sísmico é um passo bastante complexo no qual é necessário selecionar apropriadamente os passos a tomar de acordo com os dados adquiridos no campo, selecionar os parâmetros mais apropriados para cada passo, analisar os outputs de cada passo e realizar um controlo de qualidade de modo a diagnosticar qualquer problema que surja durante o processamento devido a uma eventual parametrização incorreta (Yilmaz, 2001).

46| Aquisição e Processamento dos dados Geofísicos e Análise Granulométrica dos Sedimentos de fundo

O processamento de dados sísmicos Chirp consiste na aplicação de rotinas de modo a obter perfis representativos do substrato marinho. O Fluxo de processamento dos dados de Chirp é algo diferente do da sísmica convencional. De um modo geral o propósito do processamento de dados sísmicos é melhorar a resolução vertical e a relação sinal-ruído dos dados, de modo a colocar os eventos sísmicos na posição espacial correta.

Quando se utilizam embarcações de pequenas dimensões numa campanha de reflexão sísmica, as condições meteorológicas e de estado do mar influenciam de uma forma negativa a qualidade dos dados. Os movimentos da embarcação, do equipamento e as alterações de velocidade de navegação causados pelo vento forte e ondulação, especialmente junto à costa, provocam ondulações sub-superficiais no eixo horizontal, posicionando de uma maneira errada as estruturas que pretendemos estudar. O ruído gerado pela ondulação é de baixa frequência e amplitudes elevadas. O ruído provocado pelo vento é de alta frequência e amplitudes ainda mais altas (Kim et al., 2005; Storbakk, 2012). Neste caso o ruído causado por estas fontes foi um dos principais aspetos que se tentou melhorar com o processamento realizado.

O Fluxo de processamento utilizado neste trabalho foi realizado tendo em conta a necessidade de melhorar os dados adquiridos de modo a ser possível interpretar as diferentes camadas do substrato.

Uma vez que as campanhas realizadas foram executadas em dois períodos muito distintos, as condições que influenciam a qualidade dos dados sísmicos foram um pouco diferentes, sendo que até as embarcações utilizadas em ambas as campanhas foram diferentes. Por esse motivo, ao contrário do que aconteceu com os dados de sonar de varrimento lateral, o fluxo de processamento realizado para os dados de reflexão sísmica não foi exatamente o mesmo para as linhas das diferentes campanhas. No entanto, é necessário salientar que o objetivo de ambos os fluxos é o mesmo: melhorar a interpretabilidade dos dados.

Foram criados dois projetos, um para cada levantamento realizado. Cada projeto tem apenas uma área de trabalho que corresponde a “Figueira_Foz”, um número de linhas correspondentes aos perfis sísmicos adquiridos e um conjunto de fluxos para cada uma das linhas. Há uma diferença entre os fluxos realizados para os dados da FFOZ_2014 e o fluxo realizado para os dados da FFOZ_2015. Para o conjunto de dados do primeiro levantamento foi realizado um processamento com 6 fluxos que correspondem aos 6 passos no fluxo de trabalho – 01_Input, 02_First_Picking, 03_Swell_Correction, 04_Tide_Correction, 05_Filter_and_Mute e 06_SEGY (Figura IV. 22). Para os dados do segundo levantamento geofísico aplicaram-se apenas 5 fluxos, não tendo sido necessário realizar o 02_First_Picking. A explicação para esta alteração está presente na descrição do processamento deste passo.

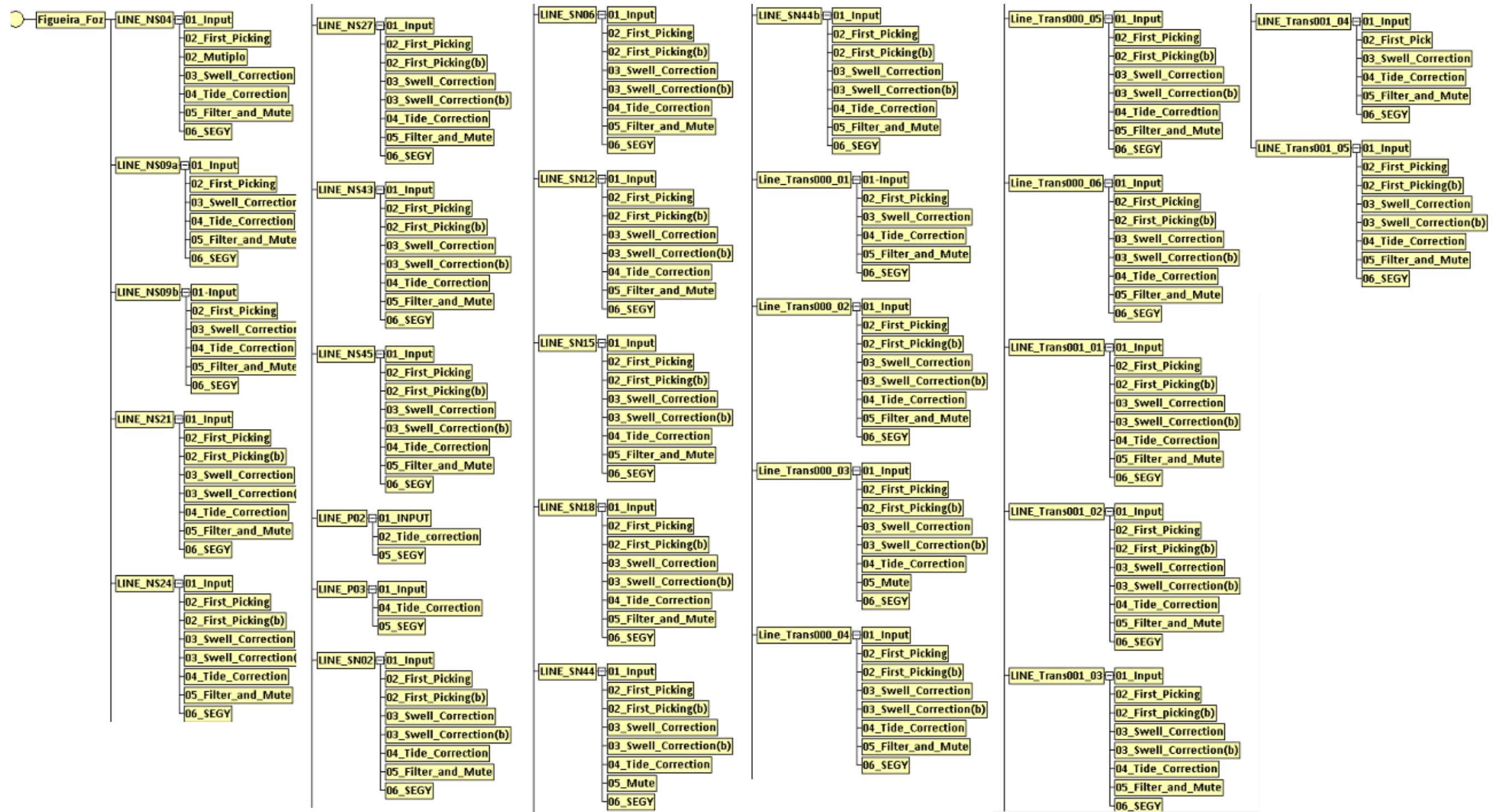


Figura IV.22: Árvore de trabalho do projeto FFOZ_2014 contendo a área, linhas e fluxos.

Input de dados e visualização/controlo de qualidade.

Os dados brutos recolhidos foram gravados no formato EdgeTech (.jsf) e por isso foi necessário convertê-los para formato SEG-Y usando o *software* JSF to SEG-Y Converter (Figura IV. 23). Uma vez convertidos para o formato SEG-Y os dados foram importados para o *software* de processamento RadExPro da empresa DECO Geophysical (Figura IV. 23).

O primeiro passo na utilização deste *software* é a criação de um novo projeto. Um projeto neste RadExPro é um conjunto de diferentes procedimentos sobre os dados originais. Após a criação de um projeto (FFOZ_2014), cria-se uma árvore de trabalho. Esta contém uma base de dados dividida por área, linha e fluxo, sendo que cada área pode conter diversas linhas e cada linha diversos fluxos. Um fluxo de trabalho pode ser definido como um conjunto de passos de processamento cujo ficheiro de entrada (*Input*) e o ficheiro de saída (*Output*) estão ligados entre si (DECO Geophysical, 2013).

O primeiro fluxo de trabalho para cada linha realiza o *input* e é composto normalmente por dois processos: *Trace Input* e *Screen Display*. O *Trace Input* serve, como já foi referido, para introduzir os dados dos traços correspondentes a cada linha na base de dados do projeto, de modo a poderem ser manipulados no fluxo. O segundo módulo é um *Screen Display*. Este permitirá a geração da representação gráfica dos dados previamente carregados. No entanto houve uma exceção, que foi a linha NS09, pois esta linha necessitava de ser dividida em duas uma vez que

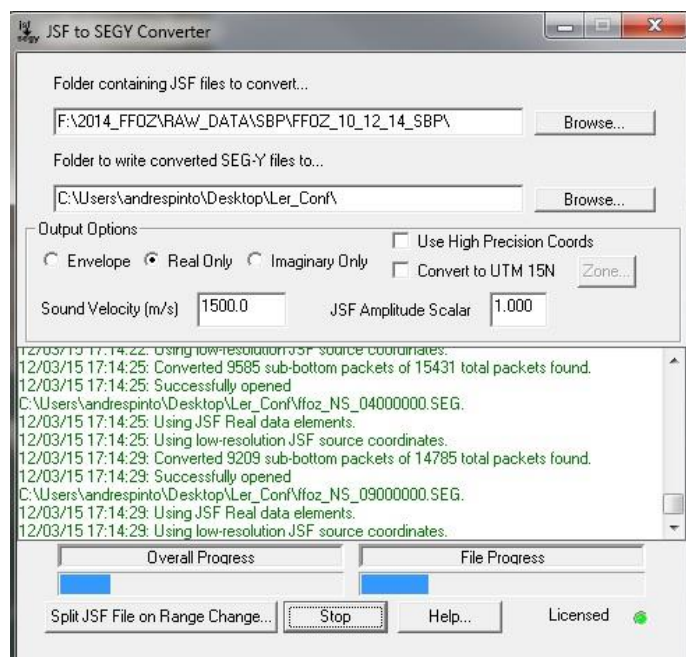


Figura IV.23: Plataforma do *software* JSF to SEG-Y Converter.

50| Aquisição e Processamento dos dados Geofísicos e Análise Granulométrica dos Sedimentos de fundo

apresentava um desvio muito grande do rumo traçado devido ao molhe norte. Neste caso foi inserido mais um passo, o *Trace Output*. Este passo teve como objetivo gravar uma linha apenas com os traços selecionados da linha original quando se carregou a linha para a base de dados do RadExPro (Figura IV.24).

A cada processo corresponde uma janela onde se podem alterar parâmetros e definir diretórios, entre outras opções. A janela correspondente ao *Trace Input* é bastante simples. Ao clicar no botão *Add* da secção *Data Sets*, abre-se uma nova janela que permite selecionarmos o conjunto de dados sobre os quais vamos trabalhar. Ao optar por seleccionar a opção *Get all* estamos a assumir que queremos os dados na ordem em que foram adquiridos, sem que haja qualquer ordenação ou corte (Figura IV.24c).

A configuração da representação gráfica é definida pelo módulo *Screen Display*. Ao clicar sobre o módulo, temos acesso a uma janela que permite alterar parâmetros de visualização (*Display Parameters*) de modo a ajustar a janela do perfil da linha ao nosso propósito e às características da linha em questão. O perfil formado apresenta a relação tempo/FFID (*Field File Identification Number*). Esses parâmetros tiveram que ser ajustados, para cada linha, principalmente as opções relativas às amplitudes dos eixos e ao ganho. Como se pode na Figura IV. 24d), a janela de visualização está dividida em duas partes, sendo a da esquerda referente aos parâmetros de escala e a direita relativa ao desenho dos traços.

Nos parâmetros de visualização, a primeira opção permite alternar a representação entre modo de densidade variável (*Variable density display mode*) ou em modo traço wiggle. É também

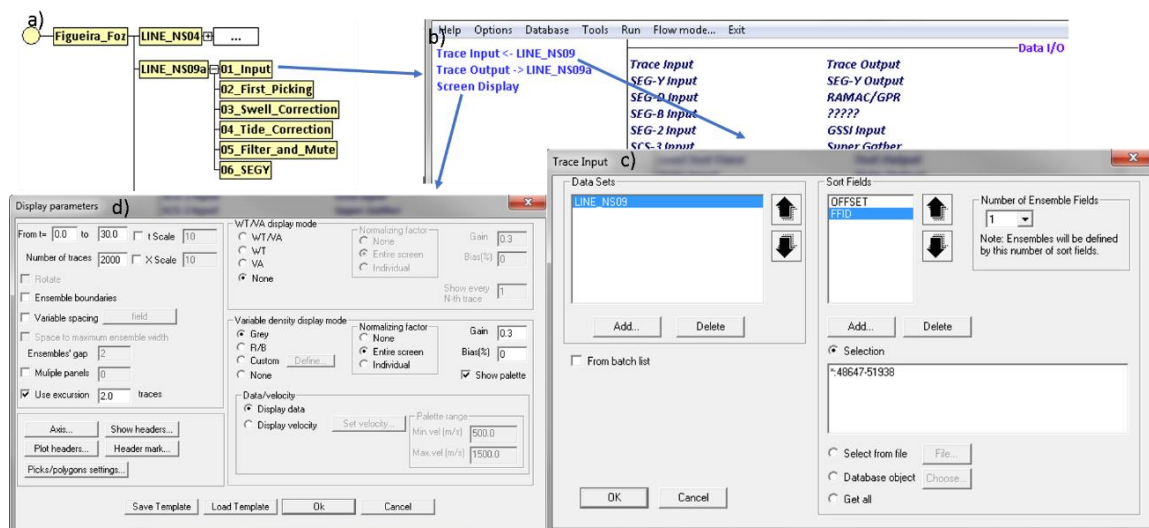


Figura IV.24: a) Exemplo de um fluxo completo; b) aspeto da janela do fluxo 01_Input; c) janela correspondente ao passo *Trace Input* onde se pode ver os traços selecionados para serem representados; d) janela do *Screen Display* onde se pode seleccionar os parâmetros de visualização da linha.

possível que o modo de visualização de densidade variável apresente secções de velocidade em vez de traços sísmicos. Um parâmetro que é frequentemente explorado de modo a facilitar a visualização de uma linha é o ganho (*gain*) (DECO Geophysical, 2013). A seleção das escalas é feita no lado esquerdo da janela. A escala temporal do eixo das ordenadas é configurada escolhendo um t mínimo e máximo, e o eixo das abcissas é configurado definindo o número de traços que queremos visualizar de cada vez. Neste caso foi muito difícil definir uma janela globalmente ajustável a todas as linhas processadas; no entanto verificou-se que um eixo t entre 0 e 30 e 2000 traços apresentava uma imagem bastante razoável que permitia uma boa visualização geral da linha.

O objetivo deste fluxo de processamento é apenas poder visualizar os dados em bruto de modo a realizar um controlo de qualidade. Isto implicou que por vezes os parâmetros fossem obtidos por tentativa e erro até se obter uma janela de visualização satisfatória. Este passo também serve para seleccionar alguns parâmetros que serão utilizados no fluxo seguinte *First Breaks Picking* (Figura IV.25).

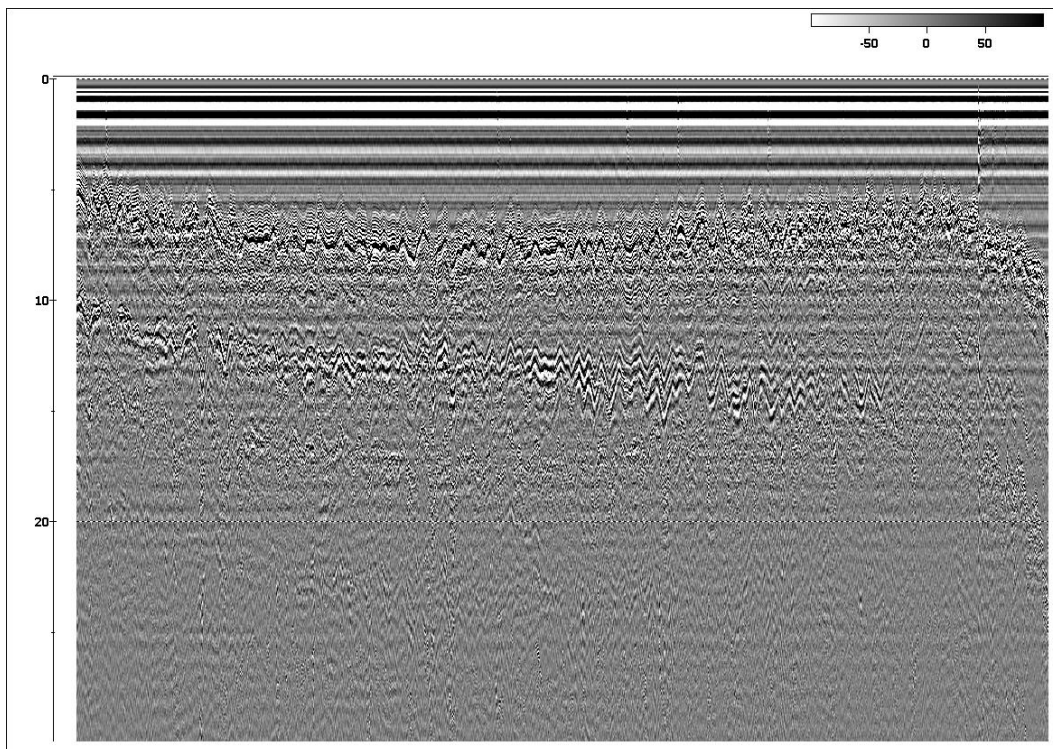


Figura IV.25: . Janela de visualização dos dados da linha NS09a em modo de densidade variável, em escala de cinzentos e com um ganho de 0.3 dB.

Deteção do fundo do mar e eliminação do efeito da Ondulação (Swell)

Para a deteção e eliminação do efeito da ondulação foram necessários dois fluxos de processamento, 02_First_Picking e 03_Swell_Correction, tendo o primeiro o objetivo de criar um ficheiro de pontos correspondentes à fronteira entre o fundo marinho e a coluna de água e o segundo utiliza este conjunto de pontos para remover o efeito da ondulação (*Swell*).

O primeiro fluxo deste processamento foi realizado de duas maneiras distintas para os diferentes levantamentos geofísicos, como já tinha sido referido. Tal deveu-se às dificuldades encontradas neste passo do processamento para os dados do levantamento FFOZ_2014, que o tornaram muito demorado, e a um novo algoritmo de *picking* presente na nova versão do *software* que apresentou melhores resultados.

Levantamento FFOZ_2014

O fluxo 02_First_Picking é composto por quatro processos: o primeiro é o *Trace Input*; o segundo é o *Trace Cabeçalho Math*; o terceiro é o *First Breaks Picking*; e o ultimo é o *Screen Display* (Figura IV. 26).

O Input dos dados é feito do mesmo modo que no primeiro. O segundo e terceiro processo em conjunto realizam um *picking* automático nos dados, de modo a obter um resultado inicial que pode ser melhorado posteriormente. Para se entender o segundo processo deste fluxo é necessário entender o que é um cabeçalho (*header*) no contexto do RadExPro.

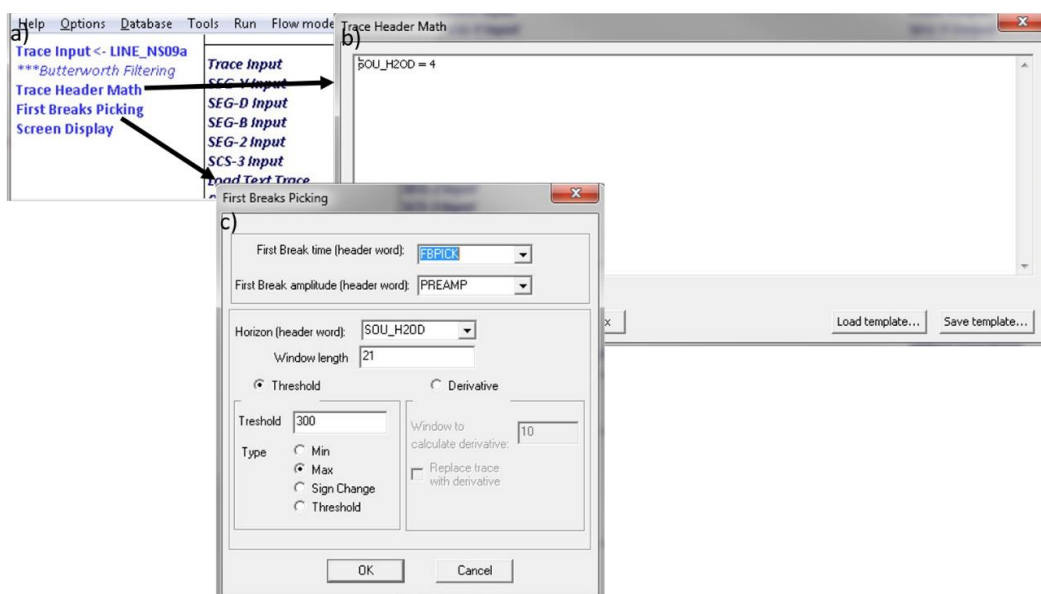


Figura IV.26: a) Aspecto da janela do fluxo 02_First_Picking; b) Janela do módulo *Trace Header Math* e c) Janela do módulo *First Breaks Picking*.

Um cabeçalho é um campo onde se guarda informação relativa aos dados sísmicos. Quando as linhas são importadas para um novo projeto esses cabeçalhos são correspondentes aos cabeçalhos que já existiam no ficheiro original, no entanto no RadExPro estes podem ser editados. Sobre esses cabeçalhos podem-se realizar operações matemáticas, utilizando o módulo *Trace Header Math* e podem-se gravar conjunto de pontos (*picks*). Um exemplo de um cabeçalho atribuído a cada traço é o FFID.

O processo *Trace Header Math* é utilizado neste fluxo para definir o valor associado ao cabeçalho *SOU_H2OD*, que corresponde à profundidade mínima a que o fundo do mar pode ser detetado na linha em questão. A definição deste valor varia de linha para linha e é definido com recurso à visualização dos dados através do fluxo de processamento realizado anteriormente. Este cabeçalho será também utilizado no terceiro processo deste fluxo, *First Breaks Picking*.

O *First Breaks Picking* abre uma janela que permite configurar os parâmetros para o *picking* automático. Como podemos observar na Figura IV. 26c) o primeiro parâmetro que tem que se escolher (*First Break time*) é o cabeçalho onde se irá guardar a informação do tempo a que se encontra o fundo do mar, que será *FBPICK*; o segundo parâmetro (*First Break amplitude*) refere-se à amplitude que corresponde ao tempo que é definido no campo anterior, no entanto, é um cabeçalho já pré-definido *PREAMP*. O campo seguinte *Horizon* diz respeito ao cabeçalho que contém a informação referente à distância mínima a que se encontra o fundo do mar, tendo sido este definido no processo anterior *SOU_H2OD*. O campo *window length* é onde se introduz a amplitude da janela onde se irá realizar o *picking* automático, ou seja, somando o valor definido para o cabeçalho *SOU_H2OD* com o valor definido para a *window length* obtém-se o valor da profundidade máxima a que o *picking* poderá ser realizado.

De seguida é necessário escolher o modo de como é implementado o algoritmo, se por *threshold* (nível limite) ou *derivative* (derivativo). Escolheu-se o primeiro modo para todas as linhas processadas, pois este foi o que apresentou constantemente um melhor resultado. Deste modo, na procura da primeira interação sedimento-coluna de água, a amplitude desta deve exceder o valor atribuído ao *threshold*. Quanto ao último parâmetro, *Type*, define se o valor do *threshold* deverá ser procurado na marca temporal máxima, mínima ou na mudança de sinal da amplitude sísmica.

Como já foi referido, as condições climáticas e de agitação marítima não foram de forma nenhuma as ideais nesta campanha. Estas condições provocaram um efeito de *Ondulação* muito grande nos dados sísmicos (ver Figura IV.25), o que por sua vez fez com que fosse praticamente impossível obter um *picking* automático que fosse satisfatório. A primeira alternativa que foi ponderada foi o uso de um filtro de passa banda, de modo a remover algum ruído de alta e baixa

54| Aquisição e Processamento dos dados Geofísicos e Análise Granulométrica dos Sedimentos de fundo

frequência e assim permitir um melhor ajuste do *picking* automático. Concluiu-se que os resultados obtidos da aplicação de um filtro não eram suficientes para obter um *picking* automático aceitável. Uma vez que ao aplicar um filtro de passa bandas se está a remover frequências que podem conter alguma informação, decidiu-se não introduzir este processo no fluxo de processamento.

Como já foi referido, foi muito difícil obter um bom *picking* automático, por isso foi necessário fazer alguns ajustes manuais na janela de visualização da linha. Este processo realiza-se através da edição dos *picks* automáticos atribuídos a cada linha (Figura IV. 27). Posteriormente a esta correção é necessário gravar o novo conjunto de *picks* num novo cabeçalho, neste caso foi escolhido o cabeçalho *pick1*.

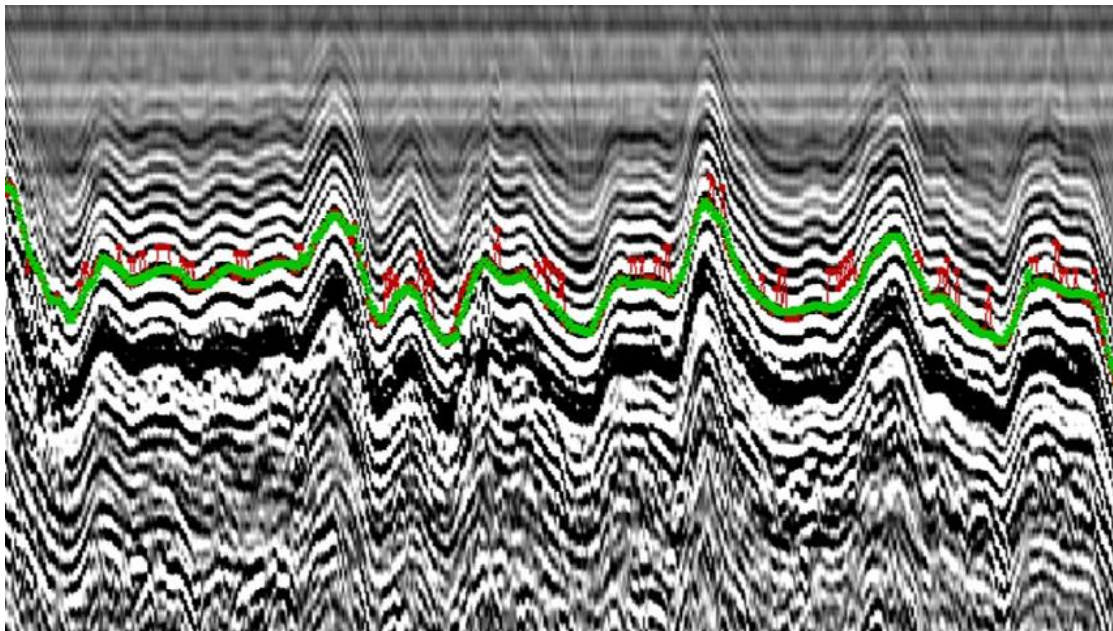


Figura IV.27: *First Breaks Picks* de uma porção da Linha NS_09a: a vermelho as *picks* realizadas automaticamente e a verde as *picks* corrigidas manualmente.

Levantamento FFOZ_2015

Como foi referido anteriormente, a detecção do fundo marinho e a criação do ficheiro com as *picks* correspondentes a este evento foi realizado de um modo diferente para os dados do levantamento geofísico FFOZ_2015. Neste caso não foi necessário realizar este passo num fluxo independente. Após o *display* dos dados no primeiro fluxo 01_Input aplicou-se um filtro de passa bandas mais especificamente um *Ormsby* (Figura IV. 28) de modo a filtrar as altas frequências. Este passo vai permitir que o *software* consiga identificar mais facilmente a interface sedimento coluna de água, realizando assim um *picking* muito mais rápido. Foram aplicados os mesmos valores para todas as linhas.

É importante salientar que este filtro se aplica apenas à visualização de dados não inferindo qualquer tipo de transformação nos dados originais.

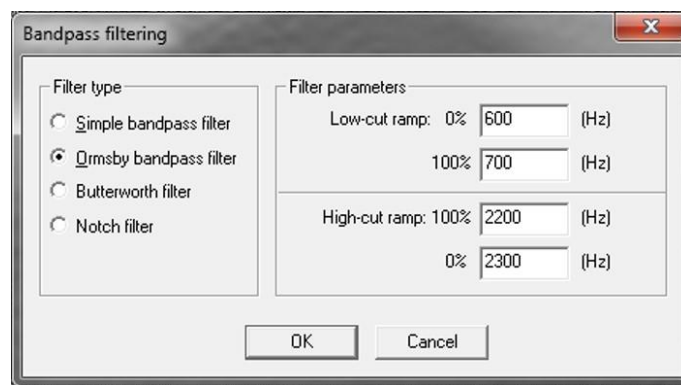


Figura IV.28: Filtro passa bandas com o tipo de filtro (*Ormsby*) e os valores utilizados.

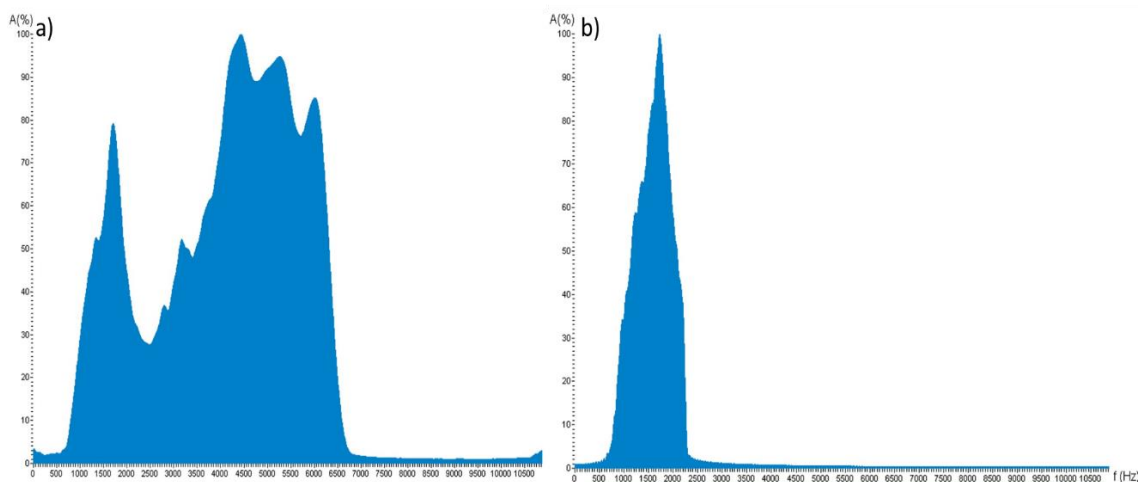


Figura IV.29: Espectro de frequências da linha EW_8; a) espectro antes da aplicação do filtro passa bandas e b) espectro depois de aplicado o filtro passa bandas.

56| Aquisição e Processamento dos dados Geofísicos e Análise Granulométrica dos Sedimentos de fundo

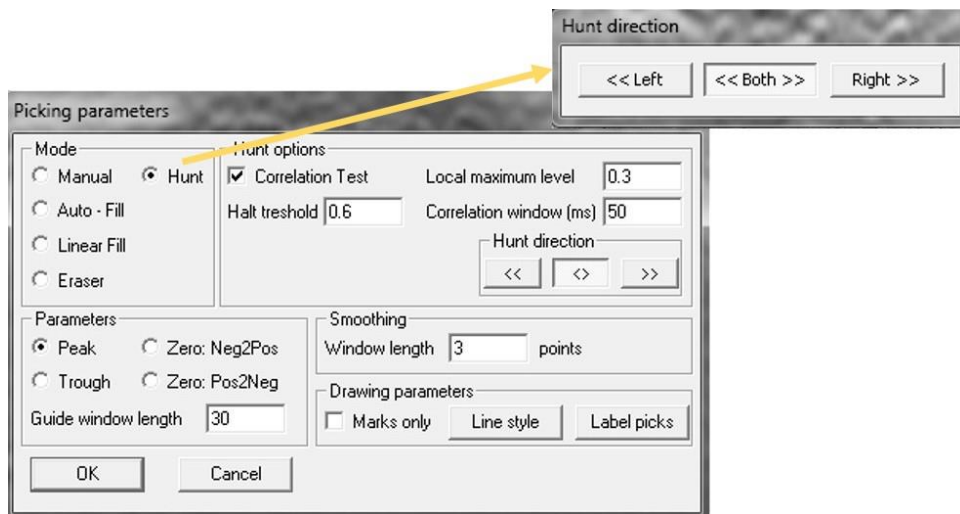


Figura IV.30: - Parâmetros utilizados para o *pick* da interface sedimento coluna de água.

Na figura IV.29 pode-se ver as diferenças dos espectros de frequência antes e depois da aplicação deste filtro.

De seguida criou-se um novo conjunto de *picks* e no modo *Hunt*, que procura o reflector seleccionado tanto para a esquerda como para a direita do ponto seleccionado, realiza-se o *pick* da interface água sedimento (Figura IV.30). De seguida grava-se o novo conjunto de *picks* num ficheiro.

O segundo fluxo de processamento utilizado neste passo é o *03_Swell_correction* (Figura IV. 31). Este passo já foi realizado do mesmo modo para ambos os levantamentos. Este fluxo é constituído por seis módulos, sendo o primeiro o *Trace Input* e o último o *Screen Display*. De modo a entender o objetivo do *picking* realizado no fluxo anterior é necessário analisar de que maneira é que este vai ser utilizado neste fluxo. Os quatro passos intermédios destinam-se à correcção do ruído do *ondulação* após a realização do *picking* manual e são: dois *Trace Header Math*, um *Header Averager* e um *Apply Statics* (Figura IV. 31).

Como todos os fluxos no RadExPro, este inicia-se com o *input* de dados através do módulo *Trace Input*. De seguida aplica-se um módulo *Trace Header Math*. Neste módulo foi inserida uma equação, $pick2 = [pick1]$ que tem como atribuir valores a um novo cabeçalho de nome *pick2*. Ou seja, o uso deste módulo tem como objetivo copiar os valores do *picking* para um novo cabeçalho de modo a que o próximo passo *Header Averager* possa agir sobre o *pick2* sem modificar o *pick1*.

O módulo *Header Averager* tem como finalidade calcular as médias móveis de valores indicados num determinado cabeçalho de que é realizado o *input* neste fluxo. Este processo funciona com base no método das janelas móveis (filtragem digital). Um determinado cabeçalho, neste caso *pick2* é percorrido por janelas cujo comprimento, em traços, é definido no parâmetro

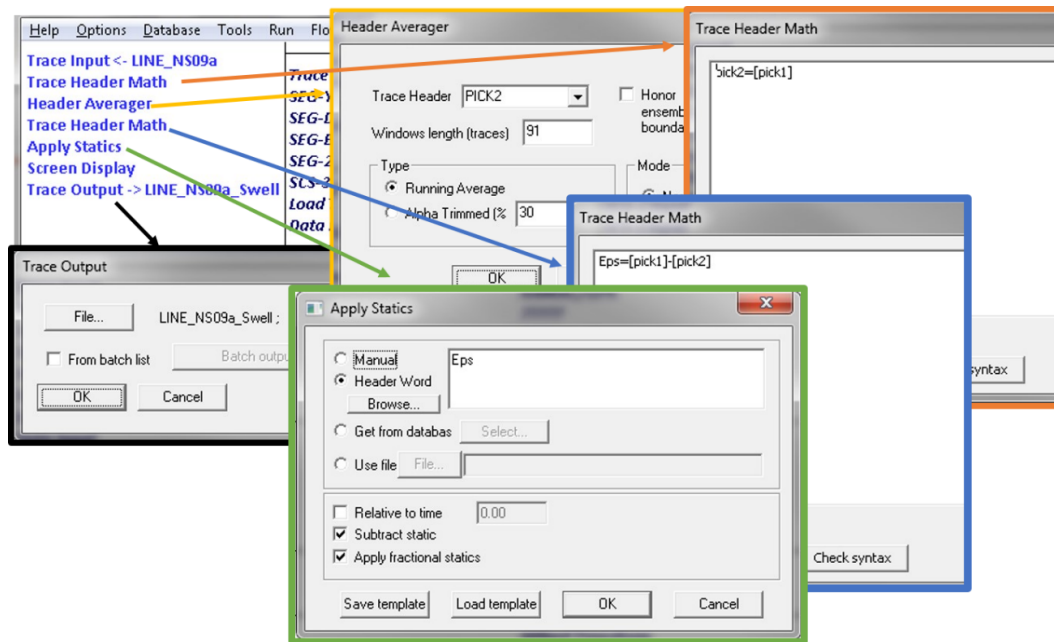


Figura IV.31: Aspeto da janela do fluxo 03_Swell_Correction e as janelas correspondentes aos módulos aplicados.

“*Window length (traces)*”. Assim no cabeçalho *pick2* ficarão armazenados valores das médias calculadas por este método (DECO Geophysical, 2013).

De seguida aplica-se novamente o módulo “*Trace Header Math*”, mas neste caso com o objetivo de atribuir a um outro cabeçalho os valores da diferença entre *pick1* e *pick2*. O cabeçalho escolhido foi o *Eps* (Sabbione e Velis 2010).

O cabeçalho *Eps* será então aplicado aos dados no módulo “*Apply Statics*”. Como o próprio nome indica, este processo é utilizado para aplicação das correções estáticas. Com a opção “*Subtract Statics*” selecionada, os valores negativos de *Eps* provocam uma deslocação para cima e os valores positivos provocam uma deslocação para baixo.

Com este conjunto de “passos” pretende-se que a correcção aplique uma deslocação das estruturas de acordo com o posicionamento do *pick* naquele traço, ou seja, se ao longo de alguns traços se delinear a presença de uma onda identificada como ruído, as estruturas localizadas a baixo do *picking* feito serão deslocadas no sentido dos *picks*. Contudo a aplicação deste processo apresentou-se bastante complicada, pois com certos comprimentos da janela mais elevados no módulo “*Header Averager*”, obtiveram-se bons resultados na interface sedimento àgua, mas os reflectores em profundidade eram prejudicados. Por esse motivo e devido às condições de elevada ondulação que estavam presentes durante o primeiro levantamento geofísico realizado (FFOZ_2014), em alguns perfis sísmicos foi necessário aplicar este processamento duas vezes consecutivas, de modo a conseguir obter um perfil em que a presença do *Swell* não fosse tão notada

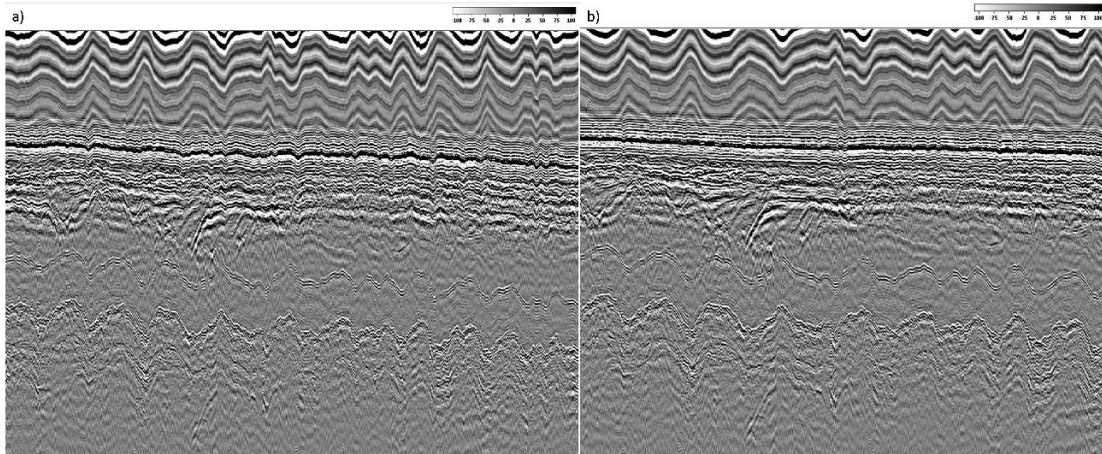


Figura IV.32: Porção da linha NS_21 a) após aplicação da primeira correção do *swell*; b) após a segunda aplicação da correção de *swell*.

e ao mesmo tempo não se comprometesse o posicionamento dos reflectores em profundidade (Figura IV. 32)

Como se pode observar na figura IV.32, as linhas adquirem um aspecto geralmente mais “suave”, notando-se uma reorganização das estruturas em profundidade, que adquirem mais coerência e continuidade (FIGURA IV. 41 b)e c)).

O processo de *picking* e de correção do *swell* é muito demorado, não só pelo *picking* propriamente dito, mas também porque envolve o teste de parâmetros várias vezes e até o retrocesso, obrigando à correção de parâmetros que aparentemente já estariam bem definidos.

Correção do efeito da maré

Além do efeito da ondulação também foi necessário corrigir o efeito da maré de modo a colocar a superfície da coluna de água no zero hidrográfico. Ao ajustar todos os perfis sísmicos ao mesmo nível hidrográfico podemos fazer correlações entre reflectores de diferentes perfis durante a interpretação.

Para realizar esta correção recorreu-se às tabelas de maré do Instituto Hidrográfico para os dias em questão. No entanto os valores apresentados pelo Instituto Hidrográfico correspondem apenas à hora de preia e baixa-mar. Deste modo foi necessário realizar uma interpolação destes valores para obter valores suficientes para a criação de um gráfico representativo da maré (Figura IV. 33).

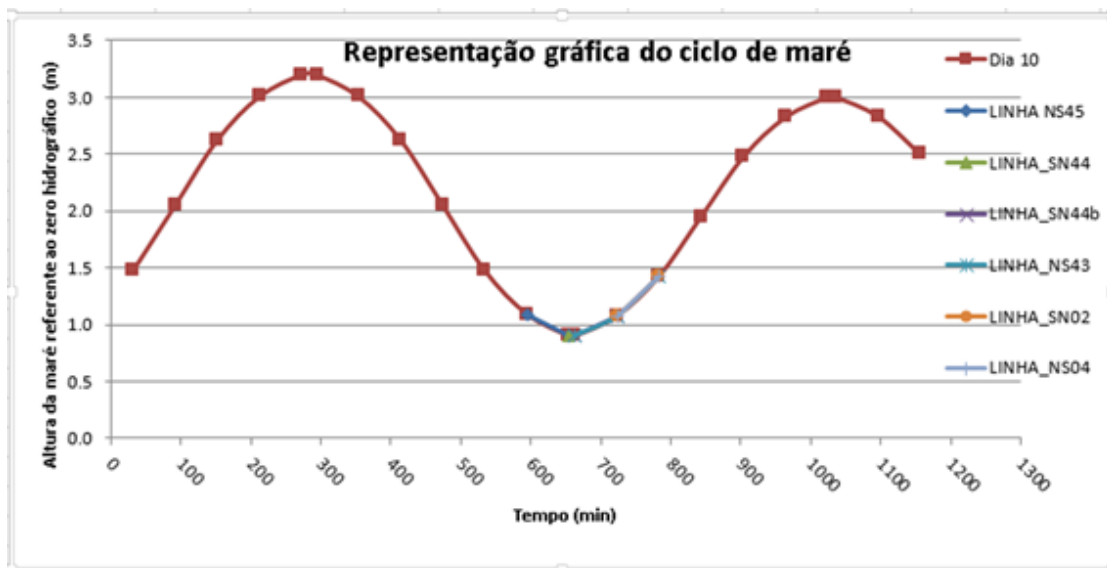


Figura IV.33: Representação gráfica do ciclo de maré para o dia 10 de dezembro de 2014.

De modo a representar a variação da maré no período de aquisição de cada perfil, deveria-se usar uma equação não linear. No entanto neste caso específico tal não foi necessário, pois o período de aquisição de cada linha não passou dos 15 minutos, período onde não se apresenta uma variação significativa da maré. Assim de modo a realizar o reposicionamento de cada perfil calculou-se uma equação da recta para cada intervalo entre pontos do gráfico. Aplicou-se a equação da recta correspondente ao intervalo em que foi realizada cada linha, de modo a calcular o valor da ordenada para cada minuto. De seguida fez-se uma média de todos os valores obtidos para cada linha e o valor obtido foi o valor utilizado para a correcção da maré nessa linha.

Após obter o valor para cada linha, recorreu-se ao módulo *Trace Header Math* para atribuir o valor calculado ao cabeçalho STAT1. De seguida com o módulo *Apply Statics* introduziu-se o cabeçalho STAT1 de modo a fazer um ajuste em função do valor que se atribuiu ao cabeçalho no módulo anterior. É de salientar que neste caso as diferenças antes e após a realização deste processo não são muito significativas. Uma vez que o valor máximo da diferença entre o zero hidrográfico e a posição da camada superficial do oceano que se utilizou para esta correcção foi de 1.73m, que corresponde a 0.00115 segundos.

Na figura IV. 34 está representado o fluxo de processamento utilizado para esta correcção.

60| Aquisição e Processamento dos dados Geofísicos e Análise Granulométrica dos Sedimentos de fundo

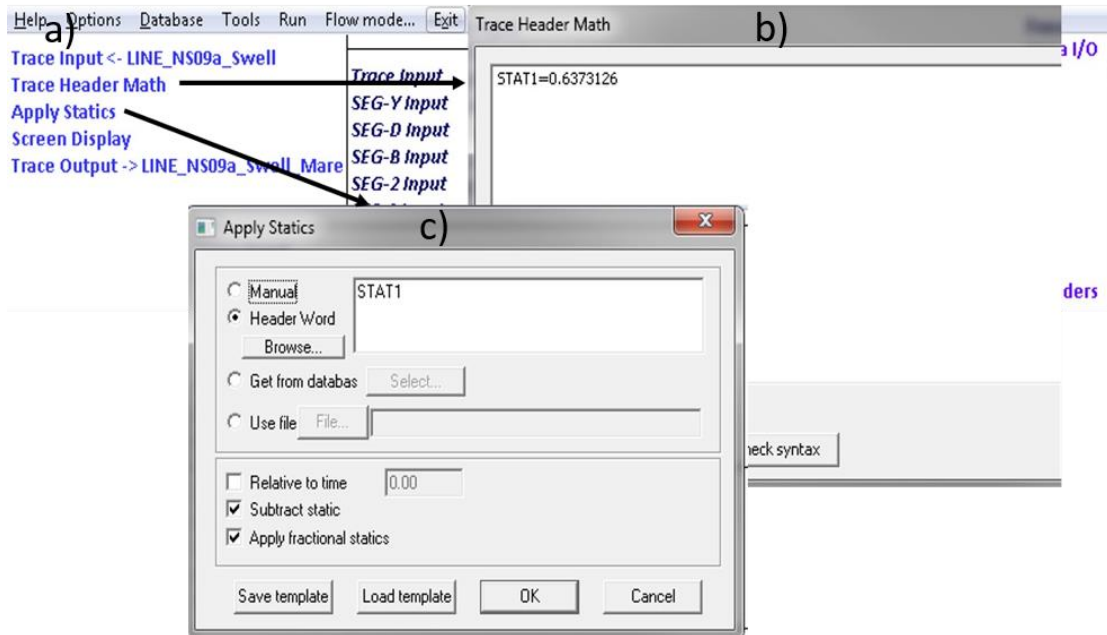


Figura IV.34: a) Aspecto da janela do fluxo 04_Tide_Correction; b) janela do módulo *Trace Header Math* e c) janela do módulo *Apply Statics*.

Correção de amplitudes

À medida que a onda sísmica se propaga em profundidade vai perdendo energia. Esta vai-se distribuir com a propagação da onda por uma área cada vez maior, o que faz com que a amplitude da onda decresça por unidade de superfície. A este fenómeno dá-se o nome de divergência esférica (*spherical divergence*). Esta é uma das razões pelas quais as reflexões mais profundas têm amplitudes inferiores às reflexões mais superficiais (e.g McQuillin *et al.*, 1984). Para corrigir este fenómeno aplicou-se uma Correção de Divergência Esférica (*Spherical Divergence Correction*). Este processo usa uma função de velocidade média em função do tempo de modo a aumentar o ganho dos dados, compensando assim a amplitude de reflexões mais profundas (Figura IV. 35).

Uma vez que estamos na presença de perfis sísmicos de alta resolução e conseqüentemente baixa penetração, no processo de correção de divergência esférica, não há necessidade de adicionar uma função de ganho exponencial.

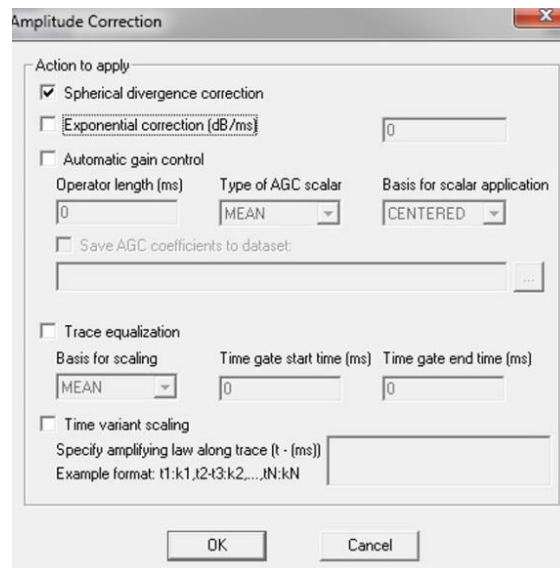


Figura IV.35: Processo *Spherical Divergence Correction*.

Filtragem de Frequências

A frequência das ondas sísmicas é uma componente muito importante nas técnicas de processamento e tem um papel muito importante nas correções estáticas, filtragem, *stacking* e migração (Yilmaz, 2001). Para manter apenas a frequência do sinal sísmico desejada, a que melhor preserva a informação que nos interessa, aplicam-se filtros de frequências. (Hatton *et al.*, 1986). O principal objetivo na atribuição de um filtro de frequências é suprimir o máximo possível a parte do espectro que não interessa sem modificar as frequências que interessam (Yilmaz, 2001). Neste caso utilizou-se um filtro passa bandas pois foi necessário retirar as frequências que não se encontravam no intervalo entre 0.5-7kHz (intervalo de frequências utilizado pelo *Chirp*). As frequências fora deste intervalo podem ter várias origens como o movimento do *Chirp* ou o ruído ambiente, como o ruído do motor da embarcação. Para verificar quais as frequências que são necessárias eliminar recorre-se ao espectro de frequências. É de salientar que este processo é realizado individualmente para cada linha, pois cada uma apresenta um espectro de frequências diferentes (Figura IV. 36).

62| Aquisição e Processamento dos dados Geofísicos e Análise Granulométrica dos Sedimentos de fundo

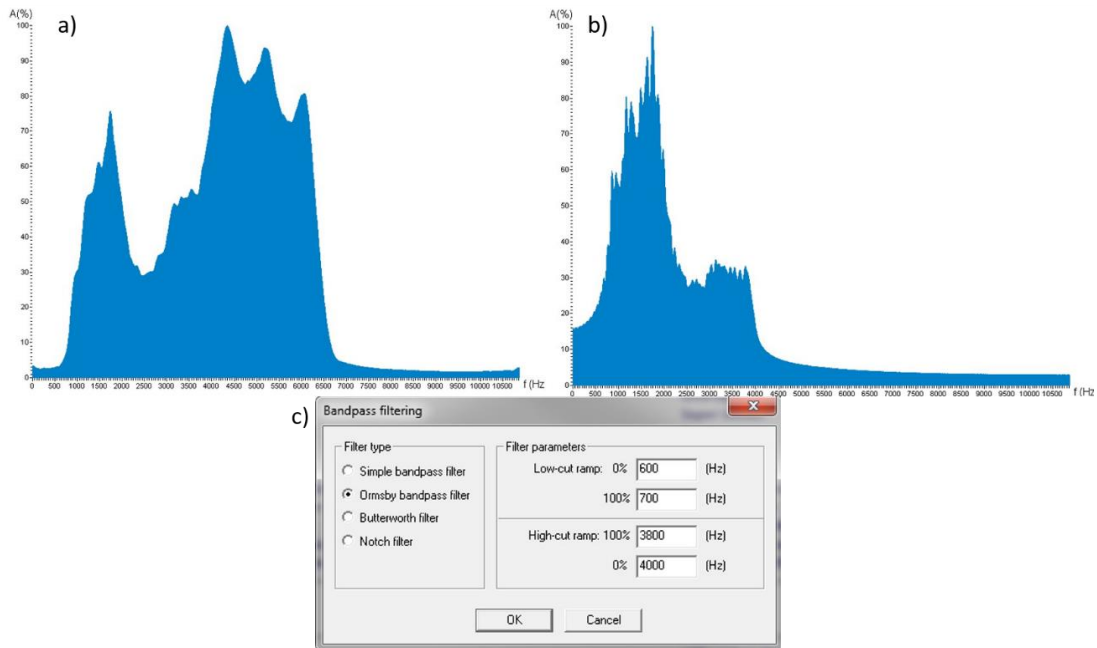


Figura IV.36: Espectro de frequências da linha NS_09a e janela do filtro passa bandas aplicado. a) Espectro antes de filtragem; b) espectro após a filtragem e c) parâmetros utilizados na filtragem.

Filtro Espacial

De modo a remover ruído espacial aleatório que não foi removido pela aplicação do filtro passa bandas, decidiu-se aplicar um filtro espacial 2D. Após alguma experimentação com o processo “*2-D Spatial Filtering*” optou-se por um filtro de média com formato triangular (Figura IV. 37).



Figura IV.37: Módulo de Filtro espacial 2-D e os parâmetros aplicados para a linha NS_09a.

Mute da coluna de água

O *mute* da coluna de água tem como objectivo remover partes de traços que não contem informação relavante para o estudo que foi realizado. No RadExPro o *mute* da coluna de água realiza-se aplicando o módulo *Trace Editing* (Figura IV. 38). Neste caso é necessário inserir um conjunto de *picks* referentes ao fundo marinho e de seguida define-se que se quer remover todos os valores dos traços sísmicos que se encontrassem acima desses pontos.

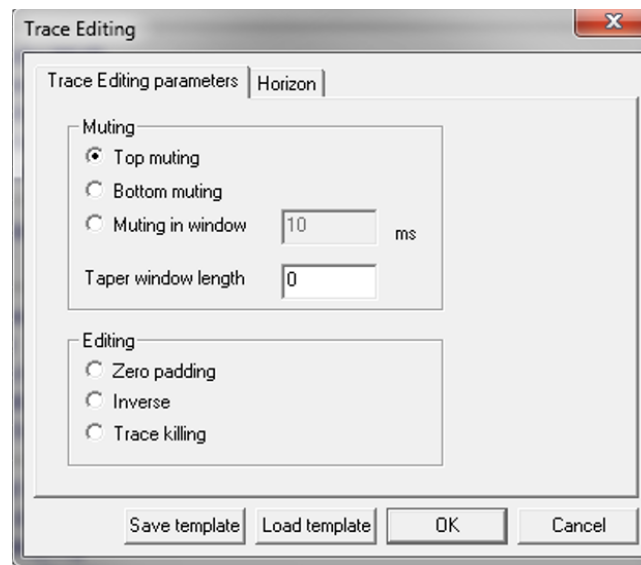


Figura IV.38: Módulo *Trace Editing* utilizado para o *mute* da coluna de água.

SEG-Y Output

Por último é necessário exportar o ficheiro final em formato SEG-Y. Para tal recorreu-se ao módulo *SEG-Y Output* (Figura IV. 39). Neste passo é necessário ter atenção ao formato de exportação dos ficheiros de modo a que os valores e cabeçalhos não sofram alterações.

64| Aquisição e Processamento dos dados Geofísicos e Análise Granulométrica dos Sedimentos de fundo

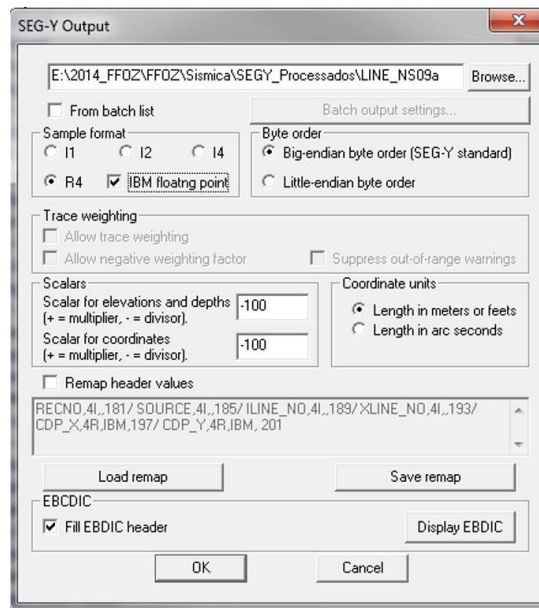


Figura IV.39: Módulo SEG-Y Output com os parâmetros utilizados para todas as linhas.

Na Figura IV. 40 está presente um esquema do fluxo completo com as correções de amplitude, filtragem de frequências, filtro espacial e o *mute* da coluna de água.

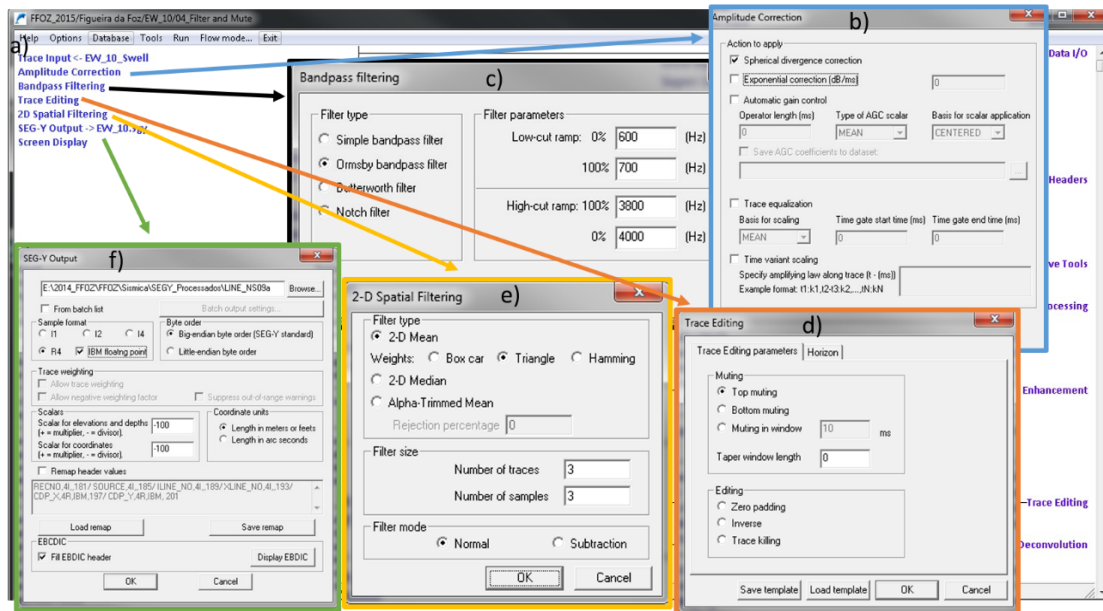


Figura IV.40: Fluxo de processamento com b) Correção de Amplitudes, c) Filtragem de frequências, d) Mute da coluna de água e) Filtragem espacial f) SEG-Y Output.

Na Figura IV. 41d) pode-se ver os resultados obtidos com o processamento do perfil sísmico da Linha NS_21.

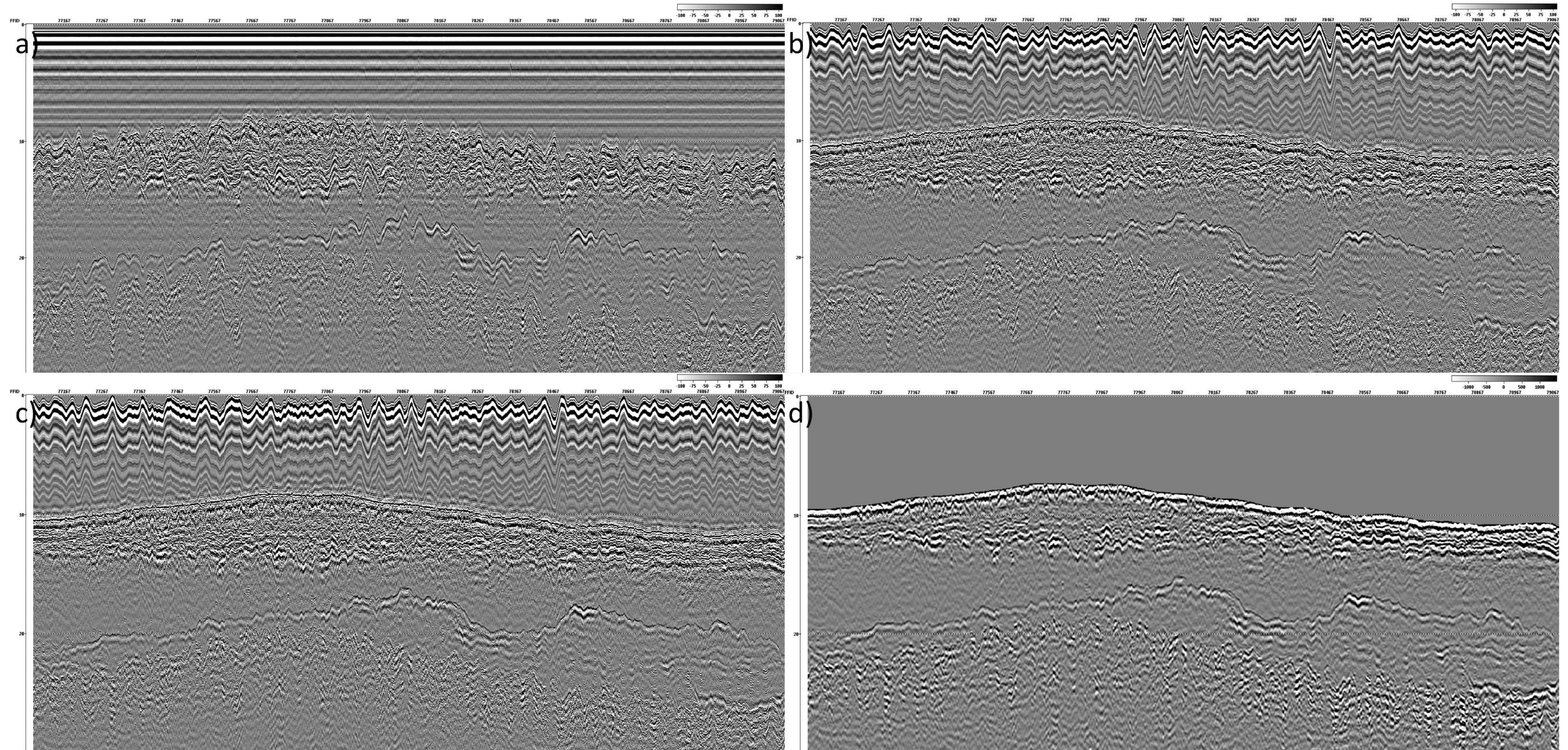


Figura IV.41: Perfil sísmico da linha NS_21 a) Linha sísmica sem processamento; b) Linha sísmica NS_21 após primeira atenuação do *swell* ; c) Linha sísmica NS_21 após segunda atenuação do *swell* , pode-se ver as diferenças no refletor entre o sedimento e a coluna de água; d) Linha sísmica NS_21 após todo o processamento realiza.

IV.4. Análise Granulométrica dos Sedimentos amostrados

As análises granulométricas das amostras recolhidas na campanha FFOZ_2014 foram realizadas no departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro. As condições para a recolha de sedimentos na 1ª campanha não foram de forma nenhuma ideais. A embarcação tem que estar parada para se proceder à recolha e com as condições de agitação marítima que se apresentaram nos dias da campanha, por uma questão de segurança, apenas se fez recolhas a sul do molhe norte onde a ondulação era inferior.

A separação de sedimentos foi realizada via método tradicional de peneiração. Para a análise granulométrica utilizou-se o programa GRADISTAST que segue o método logaritmo de Folk e Ward. Os sedimentos foram classificados num diagrama triangular de cascalho-areia-lama (Figura IV. 41). Uma vez que todas as amostras foram definidas como areia foi necessário olhar para a tabela de resultados, onde foi possível definir mais especificamente o tipo de areia (Tabela IV.1).

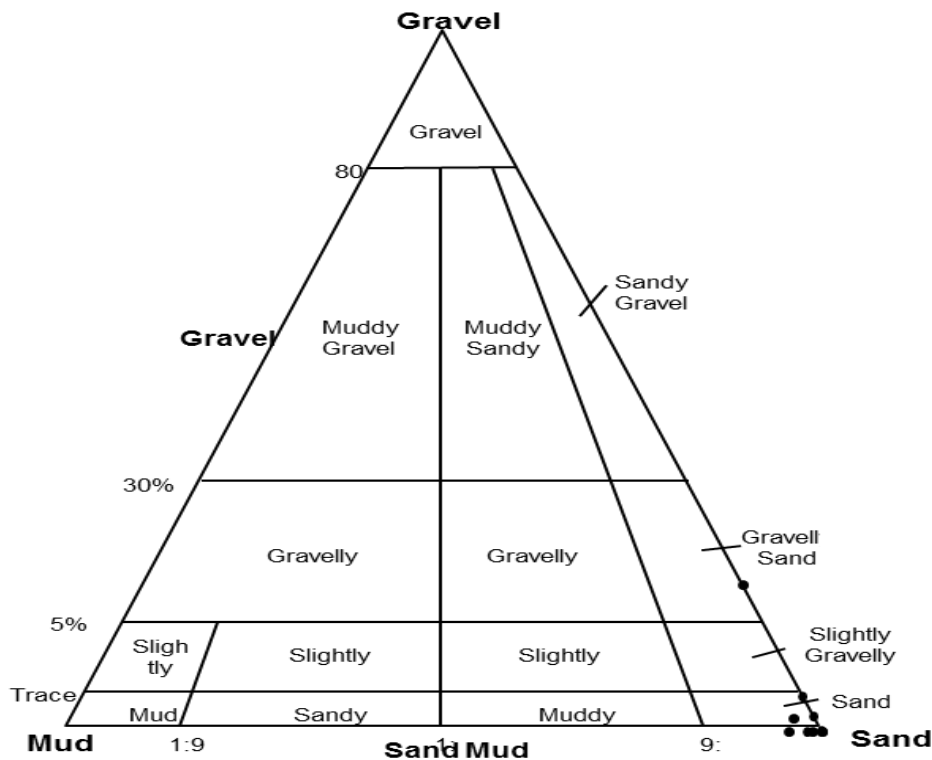


Figura IV.42: Diagrama triangular obtida da análise sedimentar realizada nos sedimentos do levantamento FFOZ_2014.

		FF0001	FF0002	FF0003	FF0004	FF0005	FF0006	FF0007	FF0008	FF0009	FF0010
	ANALYST AND DATE:	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,
	SIEVING ERROR:	0,5%	0,2%	0,1%	0,2%	0,3%	0,1%	0,2%	0,0%	0,2%	0,3%
	SAMPLE TYPE:	Bimodal, Moderately Well Sorted	Bimodal, Moderately Well Sorted	Trimodal, Moderately Well Sorted	Bimodal, Moderately Well Sorted	Bimodal, Moderately Well Sorted	Bimodal, Moderately Well Sorted	Trimodal, Moderately Sorted	Bimodal, Well Sorted	Bimodal, Moderately Well Sorted	Polymodal, Poorly Sorted
	TEXTURAL GROUP:	Sand	Slightly Gravelly Sand	Slightly Gravelly Sand	Sand	Sand	Sand	Slightly Gravelly Sand	Slightly Gravelly Sand	Sand	Gravelly Sand
	SEDIMENT NAME:	Moderately Well Sorted Fine Sand	Slightly Fine Gravelly Fine Sand	Slightly Very Fine Gravelly Fine Sand	Moderately Well Sorted Medium Sand	Moderately Well Sorted Fine Sand	Moderately Well Sorted Fine Sand	Slightly Very Fine Gravelly Medium Sand	Slightly Very Fine Gravelly Fine Sand	Moderately Well Sorted Fine Sand	Very Fine Gravelly Very Coarse Sand
METHOD OF MOMENTS	MEAN (\bar{x}_g):	129,4	184,5	157,0	214,2	122,5	126,4	290,5	172,0	186,7	794,2
Geometric (μ m)	SORTING (σ_g):	1,828	1,610	1,873	1,435	1,659	1,636	1,689	1,370	1,454	2,095
	SKEWNESS (Sk_g):	-2,724	1,889	-1,635	0,037	-1,751	-0,889	0,526	1,540	1,067	-0,346
	KURTOSIS (K_g):	14,48	13,15	12,04	1,843	13,25	11,14	3,483	6,595	4,310	2,718
METHOD OF MOMENTS	MEAN (\bar{x}_ϕ):	2,950	2,438	2,671	2,223	3,030	2,984	1,783	2,539	2,421	0,333
Logarithmic (ϕ)	SORTING (σ_ϕ):	0,871	0,687	0,906	0,521	0,730	0,711	0,756	0,454	0,540	1,067
	SKEWNESS (Sk_ϕ):	2,724	-1,889	1,635	-0,037	1,751	0,889	-0,526	-1,540	-1,067	0,346
	KURTOSIS (K_ϕ):	14,48	13,15	12,04	1,843	13,25	11,14	3,483	6,595	4,310	2,718
FOLK AND WARD METHOD (μ m)	MEAN (M_G):	127,5	186,4	177,2	224,8	120,9	121,7	291,2	178,2	187,4	766,2
	SORTING (σ_G):	1,501	1,516	1,562	1,424	1,507	1,529	1,755	1,377	1,418	2,035
	SKEWNESS (Sk_G):	-0,308	0,302	0,247	-0,396	-0,308	-0,269	0,018	0,555	0,526	-0,419
	KURTOSIS (K_G):	2,386	0,861	2,210	0,582	0,852	0,908	0,980	1,681	0,636	1,083
FOLK AND WARD METHOD (ϕ)	MEAN (M_z):	2,972	2,424	2,496	2,153	3,049	3,039	1,780	2,488	2,416	0,384
	SORTING (σ_I):	0,586	0,600	0,643	0,510	0,592	0,613	0,812	0,461	0,504	1,025
	SKEWNESS (Sk_I):	0,308	-0,302	-0,247	0,396	0,308	0,269	-0,018	-0,555	-0,526	0,419
	KURTOSIS (K_G):	2,386	0,861	2,210	0,582	0,852	0,908	0,980	1,681	0,636	1,083
FOLK AND WARD METHOD (Description)	MEAN:	Fine Sand	Fine Sand	Fine Sand	Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Medium Sand	Fine Sand	Fine Sand	Coarse Sand
	SORTING:	Moderately Well Sorted	Moderately Well Sorted	Moderately Well Sorted	Moderately Well Sorted	Moderately Well Sorted	Moderately Well Sorted	Moderately Sorted	Well Sorted	Moderately Well Sorted	Poorly Sorted
	SKEWNESS:	Very Fine Skewed	Very Coarse Skewed	Coarse Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Fine Skewed	Symmetrical	Very Coarse Skewed	Very Coarse Skewed	Very Fine Skewed
	KURTOSIS:	Very Leptokurtic	Platykurtic	Very Leptokurtic	Very Platykurtic	Platykurtic	Mesokurtic	Mesokurtic	Very Leptokurtic	Very Platykurtic	Mesokurtic

Tabela IV.1: Resultados da Análise Granulométrica realizado nos sedimentos recolhidos no levantamento geofísico FFOZ_2014.

V. Interpretação dos Mosaicos de Sonar de Varrimento Lateral e dos Perfís de *Chirp* Sonar

Neste capítulo apresentam-se os resultados do processamento e a interpretação dos mosaicos de sonar varrimento lateral obtidos para a área de estudo, calibrados com a classificação dos sedimentos de fundo baseada na sua análise granulométrica. Apresenta-se ainda, a título de exemplo, a interpretação de algumas das secções sísmicas processadas, nas quais foi possível identificar 3 unidades principais, que parecem corresponder às unidades identificadas em algumas sondagens realizadas na área de estudo. A cartografia regional destas unidades e da sua espessura, que se revelam bastante complexas na parte norte da área de estudo, está fora do âmbito deste trabalho, dado o seu limite temporal, mas será objeto de trabalho futuro.

Espera-se com os resultados obtidos contribuir para um melhor conhecimento da distribuição espacial dos diferentes tipos de sedimentos de fundo na área de estudo e dos processos de transporte na região da Figueira da Foz.

V.1. Interpretação dos dados de Sonar de Varrimento Lateral

A interpretação dos mosaicos obtidos após o processamento dos dados de sonar de varrimento lateral, inclui a interpretação da distribuição espacial dos diferentes tipos de sedimentos de fundo e a identificação de formas de fundo provocadas pela acção das correntes e processos sedimentares.

A grande vantagem da utilização do mosaico de varrimento lateral é que permite obter uma cobertura completa da área de estudo e, uma vez calibrado com amostragem pontual dos sedimentos de fundo, permite cartografar com um grande detalhe a distribuição espacial dos vários tipos de sedimentos e formas de fundo associadas, permitindo racionalizar as campanhas de amostragem e assegurar a representatividade das amostras colhidas.

V.1.1. Mosaico do levantamento geofísico FFOZ_2014 e calibração com amostragem de sedimentos de fundo

O mosaico de sonar de varrimento obtido após o processamento (Figura V. 1) mostra a distribuição espacial dos diferentes tipos de sedimentos e formas de fundo na área em estudo.

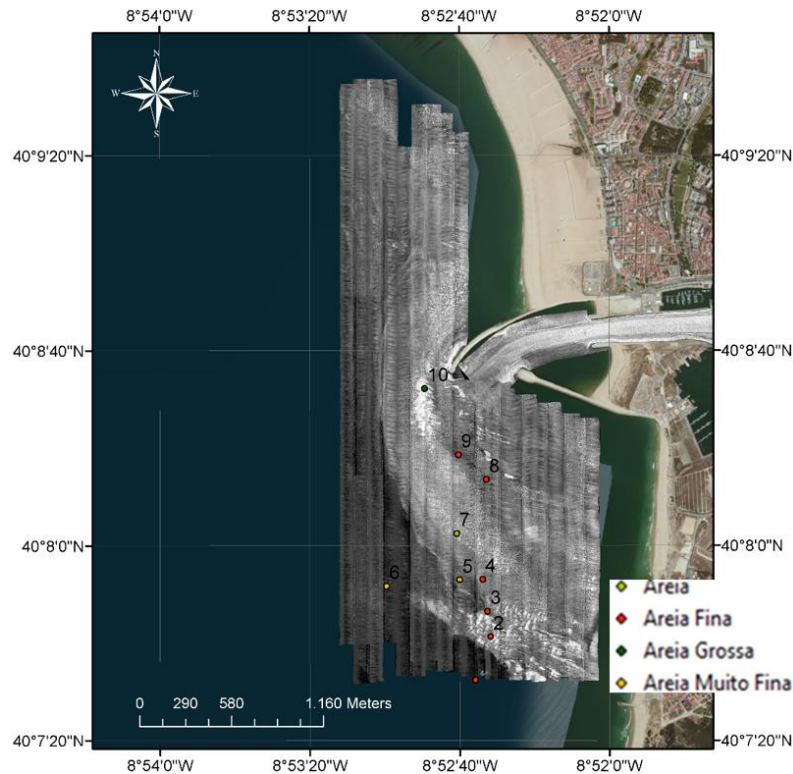


Figura V.1: Mosaico de sonar de varrimento lateral e localização das amostras de sedimentos de fundo. As refletividades mais altas, associadas a sedimentos mais grosseiros, estão representadas a tons de cinzento claro; as refletividades mais baixas, associadas a sedimentos mais finos, estão representadas a tons de cinzento-escuro.

Como já foi referido nesta dissertação, os diferentes tipos de sedimentos de fundo provocam diferentes níveis de energia de backscatter: os sedimentos mais grosseiros produzem refletividades mais altas que os sedimentos mais finos. Na representação utilizada, as refletividades altas, geralmente associadas a sedimentos mais grosseiros, estão representadas a tons de cinzento claro; as refletividades mais baixas, geralmente associadas a sedimentos mais finos, estão representadas a tons de cinzento-escuro. A campanha de amostragem de sedimentos de fundo permitiu confirmar totalmente a interpretação do tipo de sedimentos de fundo obtida apenas com base na imagem de sonar de varrimento lateral e cartografar a sua extensão lateral. Efetivamente, os sedimentos colhidos nas zonas com maior refletividade correspondem claramente à fração mais grosseira amostrada (Amostra 10), e os colhidos nas zonas de mais baixa refletividade correspondem aos sedimentos mais finos (Amostra 6).

O *software* Triton Perspective permite realizar uma classificação semi-automática do tipo de sedimentos de fundo recorrendo ao módulo *SeaClass*. Utilizando os sedimentos analisados foi possível definir quatro principais tipos de superfície de amostragem: 1) Areia muito fina; 2) Areia Fina; 3) Areia, e 4) Areia Grossa. Para realizar esta classificação é necessário criar redes neuronais atribuindo cores a certos pixéis do mosaico com um determinado valor, que representa um certo tipo de sedimento. Os pixéis escolhidos são correspondentes à localização das amostras recolhidas e foi atribuída uma cor a cada tipo de sedimento: amarelo a areia muito fina; azul a areia fina; vermelho a areia média e verde a areia grosseira. De seguida realizou-se o processo *neural net training* no qual o *software* tentou atribuir a cada pixel, com o mesmo valor que aqueles seleccionados, a cor correspondente. No entanto, como se pode verificar na Figura V.2, os resultados obtidos, representados Figura V.2, em bruto, sem processamento nem edição de ruído, permitiram identificar a distribuição geral dos sedimentos; no entanto, devido ao facto de o número de pontos escolhidos para criar a rede neuronal não ser suficiente e à baixa resolução do mosaico, devido ao espaçamento entre linhas, optou-se por efectuar uma interpretação manual.

A interpretação manual apresentada na Figura V.3 foi realizada com base na informação recolhida da análise granulométrica (Figura V. 2). Como podemos observar na Figura V. 3 as

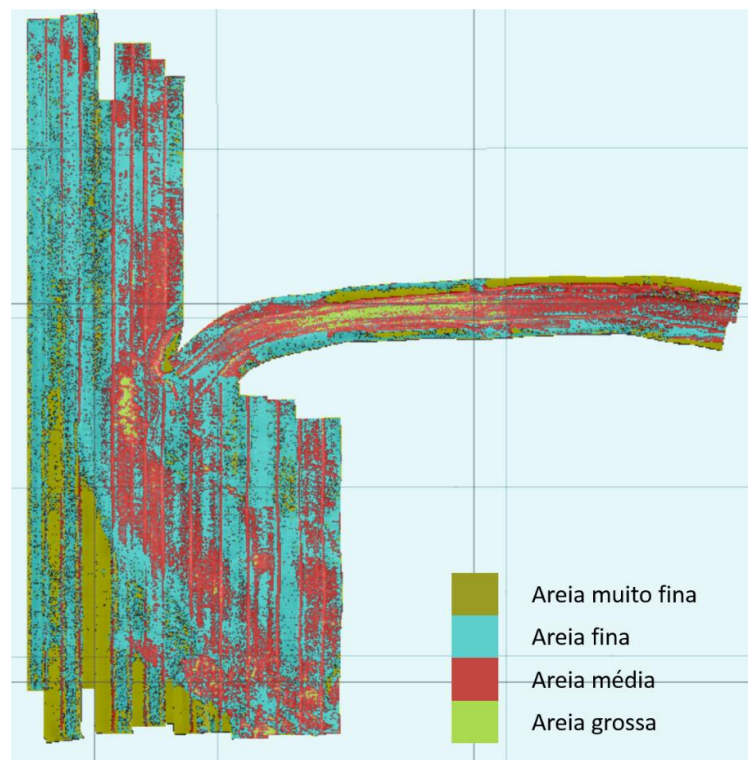
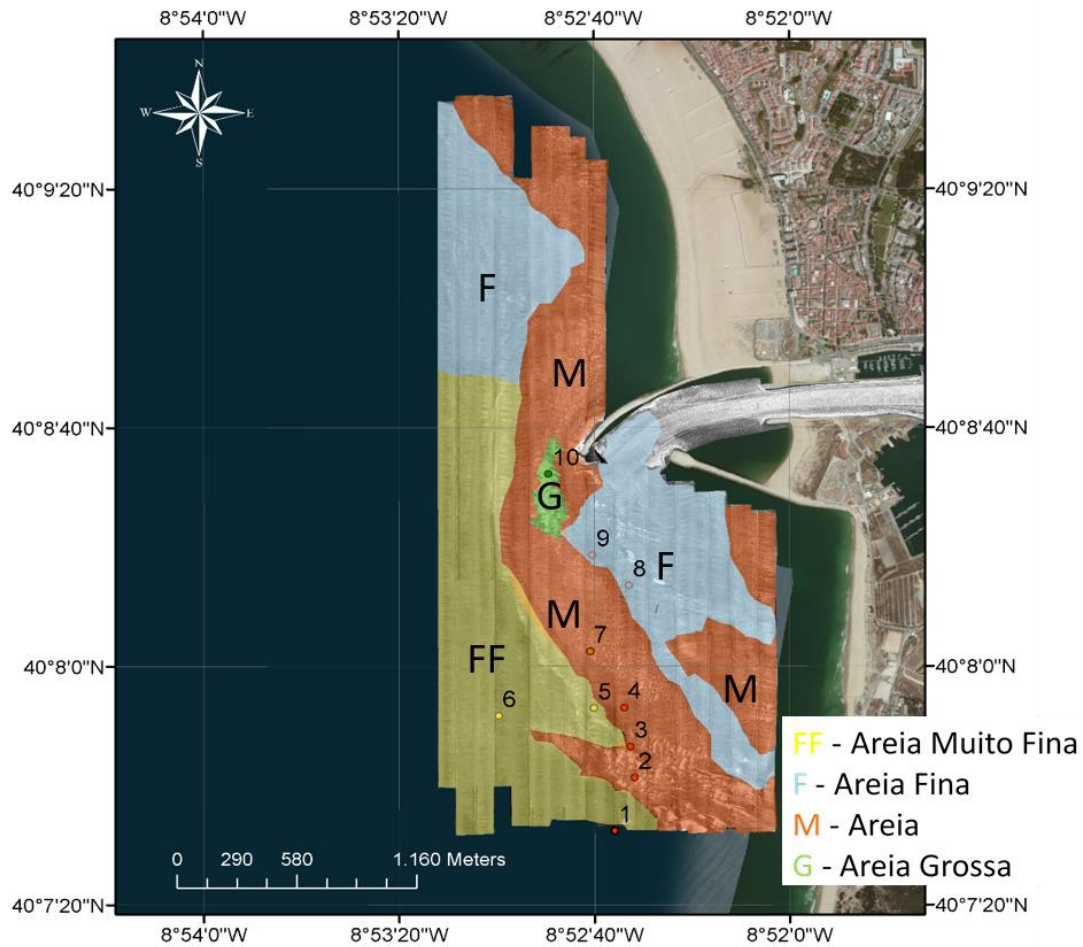


Figura V.2: - Interpretação sedimentar automática realizado no do mosaico de sonar de varrimento lateral *software Triton Perspective*.

74| Interpretação dos Mosaicos de Sonar de Varrimento Lateral e dos Perfís de Chirp Sonar



percentagens de areia muito fina, areia fina e areia média na área de estudo são relativamente parecidas. No entanto, a Areia grosseira representa apenas uma área muito pequena da zona de estudo.

Verifica-se que os sedimentos mais finos se encontram no local mais a sul e mais distante da costa. Os sedimentos mais grosseiros são os primeiros a serem depositados enquanto que os sedimentos mais finos continuam em suspensão e são transportados por um período mais longo. Deste modo os sedimentos mais finos têm tendência a ser depositados em locais de maior profundidade, mais afastados da costa, enquanto os sedimentos mais grossos são depositados mais perto da linha de costa, em locais com mais turbulência e maior exposição à ação das ondas.

No entanto é importante salientar que esta análise é apenas uma simplificação destes processos, pois estes são muito mais complexos. Os fatores envolvidos como a ondulação, correntes e o *input* de sedimentos variam de região para região, dando origem a processos de sedimentação diferentes.

Os dados de sonar de varrimento lateral, devido à sua elevada resolução espacial, permitem observar as diferentes formas de fundo e estruturas sedimentares, o que tem grande importância para o estudo e para a compreensão detalhada da hidrodinâmica regional e a sua modelação.

As estruturas sedimentares podem ser classificadas em três tipos fundamentais: *Ripples*, *Megaripples* e Dunas (Figura V. 4). Alguns autores apenas definem dois grupos, sendo que associam os *Megaripples* às Dunas. A classificação destas estruturas vai depender principalmente da amplitude e comprimento de onda que apresentam. (Tabela V. 1). A formação destas estruturas está dependente de diversos fatores, como o a granulometria do sedimento, a velocidade da corrente e a profundidade (Gonzalez, 1984).

Na área de estudo encontram-se *megaripples* de oscilação assimétrica e *megaripples* com

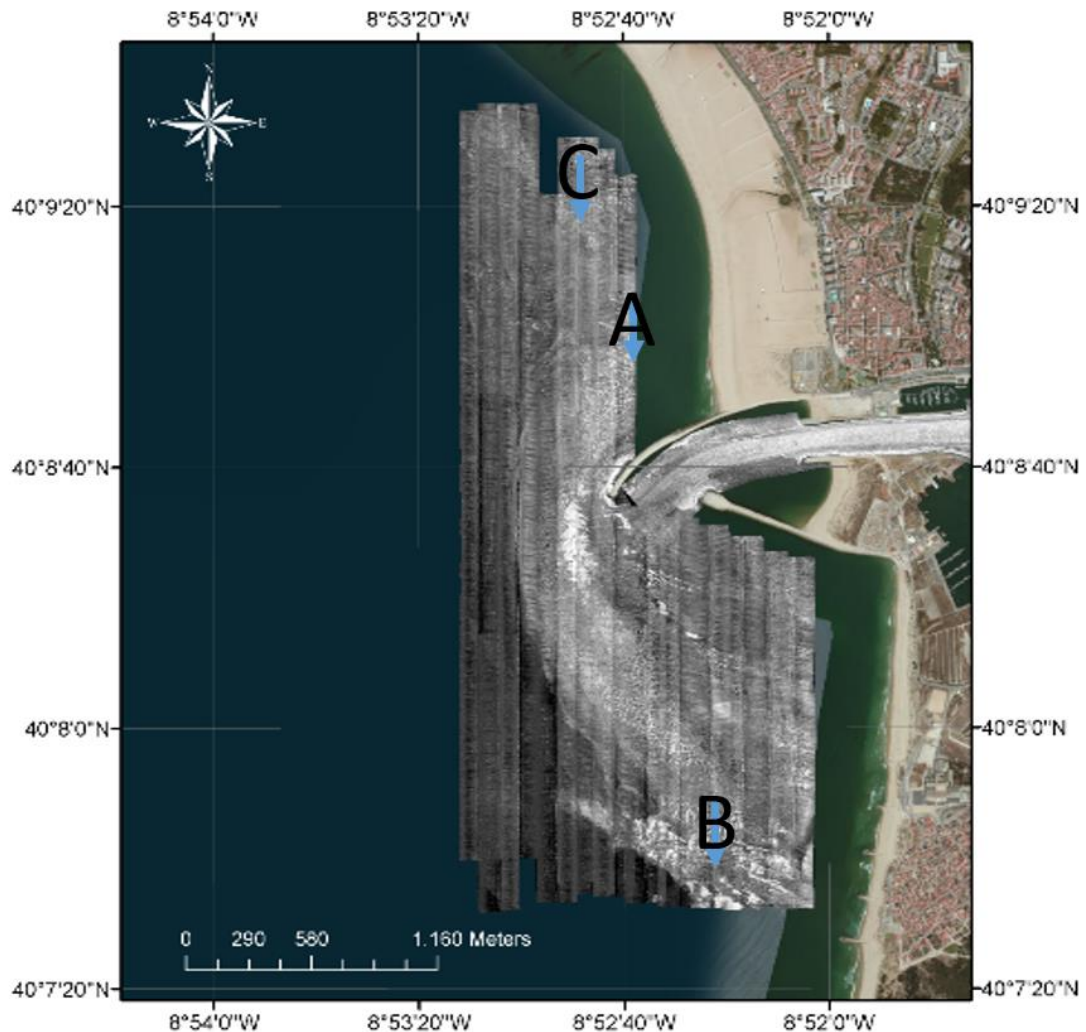
Tabela V.1: Definição das dimensões de Ripples, Megaripples e Dunas (Gonzales, 1984).

Estruturas Sedimentares	Comprimento de Onda	Altura/Amplitude
<i>Ripples</i>	< 30 cm	2-3 cm
<i>Megaripples</i>	> 60 cm até 30m	> 10 cm até 1 m
Dunas	> 30 m	> 1 m

estratificação cruzada. Como se pode ver na Figura V. 4 o padrão apresentado por estes varia em função da velocidade e da profundidade.

	TIPO DE FLUJO	REGIMEN DE FLUJO	MORFOLOGIAS DEL FONDO (BEDFORMS)	MORFOLOGIA DE CRESTAS	ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS
↑ "ENERGIA" CRECIENTE	OSCILATORIO	ALTO	FONDO PLANO SUPERIOR		laminación paralela
		TRANSICION	APLANAMIENTO		estratificación cruzada pasa a laminación paralela
	ASIMETRICO	BAJO	MEGARIPPLES MEDIA LUNA		estratificación cruzada en artesa (surco)
			R.O.A. CRESTAS IRREGULARES		laminación cruzada de oscilación asinétrica
			R.O.A. CRESTAS SINUOSAS		(wave ripple cross lam.)
	OSCILATORIO SIMETRICO		RIPPLES DE OSCILACION ASIMETRICOS DE CRESTAS RECTAS		laminación cruzada de oscilación simétrica
		RIPPLES DE OSCILACION SIMETRICOS DE CRESTAS RECTAS		laminación cruzada de oscilación simétrica	
	NO HAY MOVIMIENTO		FONDO PLANO INFERIOR		laminación paralela (decantación)

Figura V.4: Da esquerda para a direita: tipos de fluxos oscilatórios; regime de fluxo; configurações do fundo (*bedforms*) e estruturas sedimentares resultantes (Gonzales, 1984).



A Figura V. 5 mostra a localização das zonas do mosaico (A, B e C) que foram selecionadas para ilustrar os detalhes das formas de fundo que é possível observar com este método.

Na zona B, zona mais a sul (Figura V.6 ver localização na Figura V.5), podem-se observar pormenorizadamente zonas de *megaripples* de oscilação assimétrica bem definidos em sedimentos um pouco mais grosseiros, intercalados com sedimentos mais finos. Este padrão de *megaripples* de oscilação assimétrica intercalados com sedimento mais fino poderia contrariar a teoria de que quanto mais pequeno o tamanho do grão, mais fácil é de transportar. No entanto esse aspeto só se aplica quando o sedimento já está em suspensão. Segundo Hjulstrom (1939), se for para iniciar o transporte de sedimentos, os sedimentos mais pequenos não são mais fáceis de transportar que sedimentos maiores. Por exemplo, os sedimentos inferiores a $125\mu\text{m}$ apresentam uma relação superfície-massa que faz com que sejam mais difícil erodir que areias médias. Mas tendo em conta a análise sedimentar efetuada pode-se excluir esta hipótese, pois nesta zona há a presença de areia média (Figura V. 3) Outra explicação para o padrão apresentado na Figura V.6, e possivelmente a

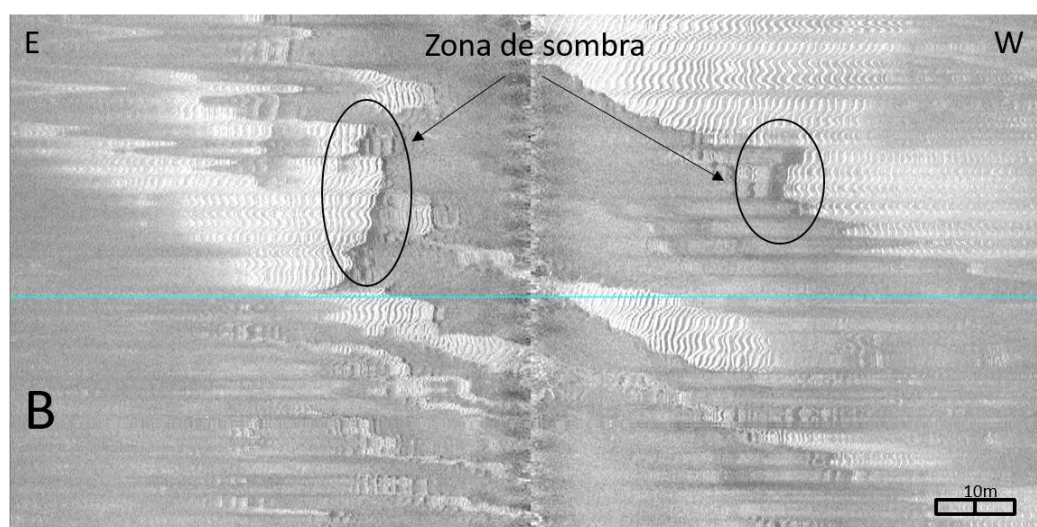


Figura V.6: Detalhe da zona B (localização Figura V. 4) no qual podem ser identificadas estruturas com *megaripples* de oscilação assimétrica bem definidos.

correta, é que o sedimento mais fino depositou-se posteriormente por cima do sedimento mais grosseiro. Este padrão pode ser explicado pela sobreposição que se vê em alguns contactos entre os dois tipos de sedimentos (Figura V.6).

Na zona C, local mais a norte (Figura V.7 ver localização Figura V.5), observa-se uma área repleta de *megaripples* com estratificação cruzada. Este padrão muito possivelmente deve-se à existência de uma dinâmica oceanográfica mais elevada na zona norte da área de estudo.

Por último, na Figura V.8 (Zona A na Figura V.5) pode-se observar a existência de estruturas interdigitadas com *megaripples* de oscilação assimétrica e *megaripples* com estratificação cruzada em areias de grão médio. Com base nas características que contribuem para a formação destas estruturas, e uma vez que a granulometria neste local é homogénea, pode-se assumir que este padrão se deve à variação de velocidades de fluxo.

Esta variação de estruturas indica-nos a existência de diferentes velocidades de fluxo nas diferentes zonas, associadas a diferentes tipos de sedimentos.

Por último recorreu-se ao *software* Fladermaus da empresa Quality Positioning Services (QPS), para projetar o mosaico de sonar de varrimento lateral sobre a batimetria de 2013 (Figura V.9), o que permitiu evidenciar os efeitos da topografia na interpretação dos dados. É importante salientar que este *software* apenas permite a projeção da parte do mosaico correspondente à batimetria, e por esse motivo o mosaico não fica totalmente representado.

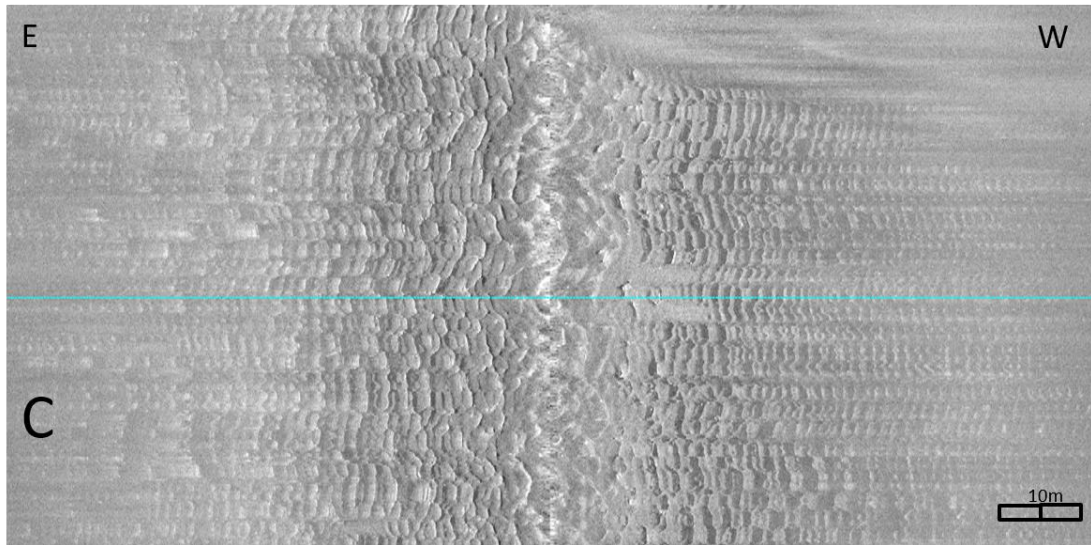


Figura V.7: Detalhe da zona C (localização Figura V.4) onde podem ser identificados padrões complexos de *megaripples* de estratificação cruzada.

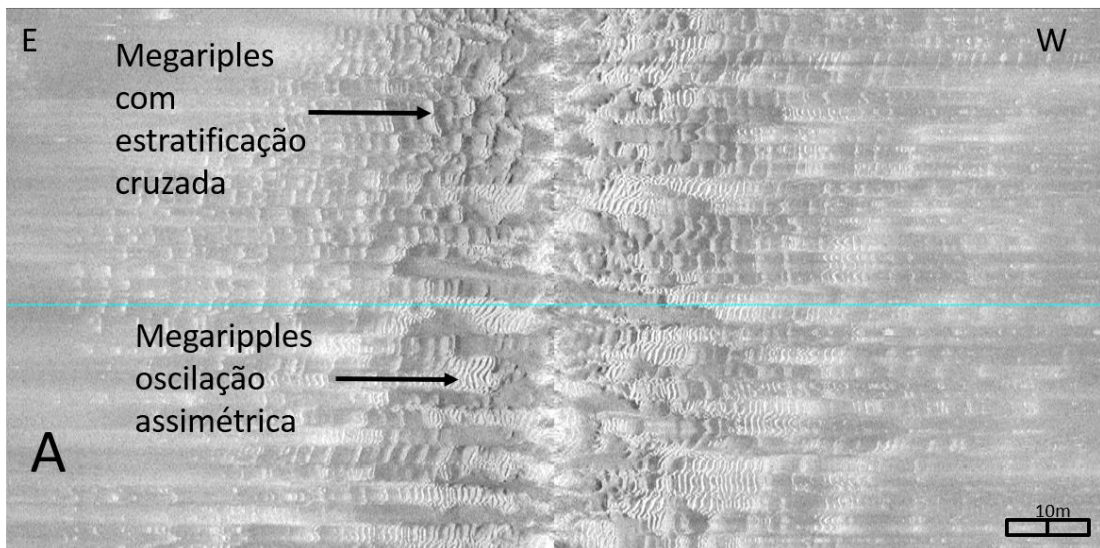


Figura V.8: Detalhe da zona A, onde podem ser identificados *megaripples* de oscilação assimétrica e *megaripples* de estratificação cruzada (ver localização na Figura V. 5).

Recorrendo à Figura V. 9 pode-se aferir que os sedimentos mais grosseiros encontram-se depositados no banco de areia que se forma na vizinhança da entrada do Porto. O facto dos sedimentos mais grosseiros se encontrarem depositados no local onde existe uma maior deposição de sedimentos, indica que nesta zona a velocidade do transporte diminui. Esta diminuição de fluxo aparenta estar relacionada com a presença do molhe norte da embocadura do rio Mondego. Consegue-se também verificar que existe uma correlação entre o padrão de distribuição sedimentar e a batimetria, pois nos locais onde temos cotas batimétricas mais baixas é onde encontramos sedimentos mais grosseiros.

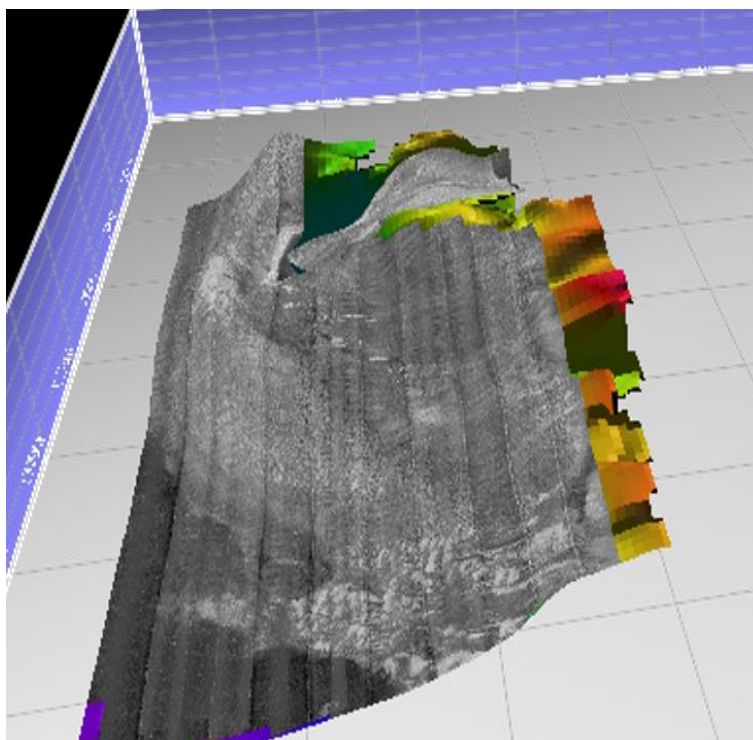


Figura V.9: Mosaico de sonar de varrimento lateral do levantamento FFOZ_2014 projetado sobre a batimetria de dezembro de 2013.

V.1.2. Mosaico do levantamento geofísico FFOZ_2015

O mosaico obtido após o processamento dos dados de sonar de varrimento lateral adquiridos no levantamento geofísico FFOZ_2015 está representado na Figura V.10. Como foi referido anteriormente, apesar de também terem sido recolhidas amostras sedimentares durante esta campanha, devido aos atrasos na execução da campanha por problemas com a embarcação, não foi possível realizar a classificação granulométrica destes a tempo da conclusão desta tese. Por este motivo não foi possível realizar a calibração deste mosaico com as amostras de sedimentos, como se fez para o mosaico do levantamento geofísico FFOZ_2014. No entanto, dado que ambos os mosaicos apresentam uma gama de valores de reflectividade semelhantes (valores máximos e mínimos semelhantes), pode-se concluir que a reflectividade (retrodispersão) é agora muito menor de uma forma geral, do que o que foi observado no primeiro levantamento (Figura V.11). É igualmente possível assumir, numa primeira aproximação, que a mesma intensidade de reflexão corresponde ao mesmo tipo de sedimentos identificados na 1ª campanha. Os mosaicos de sonar de varrimento lateral (Figura V.11) revelam que é na zona do banco de areia e na área envolvente que os sedimentos mais grosseiros anteriormente observados já não são mais visíveis e observa-se, de uma forma geral que existe uma maior homogeneidade do tipo de sedimentos.

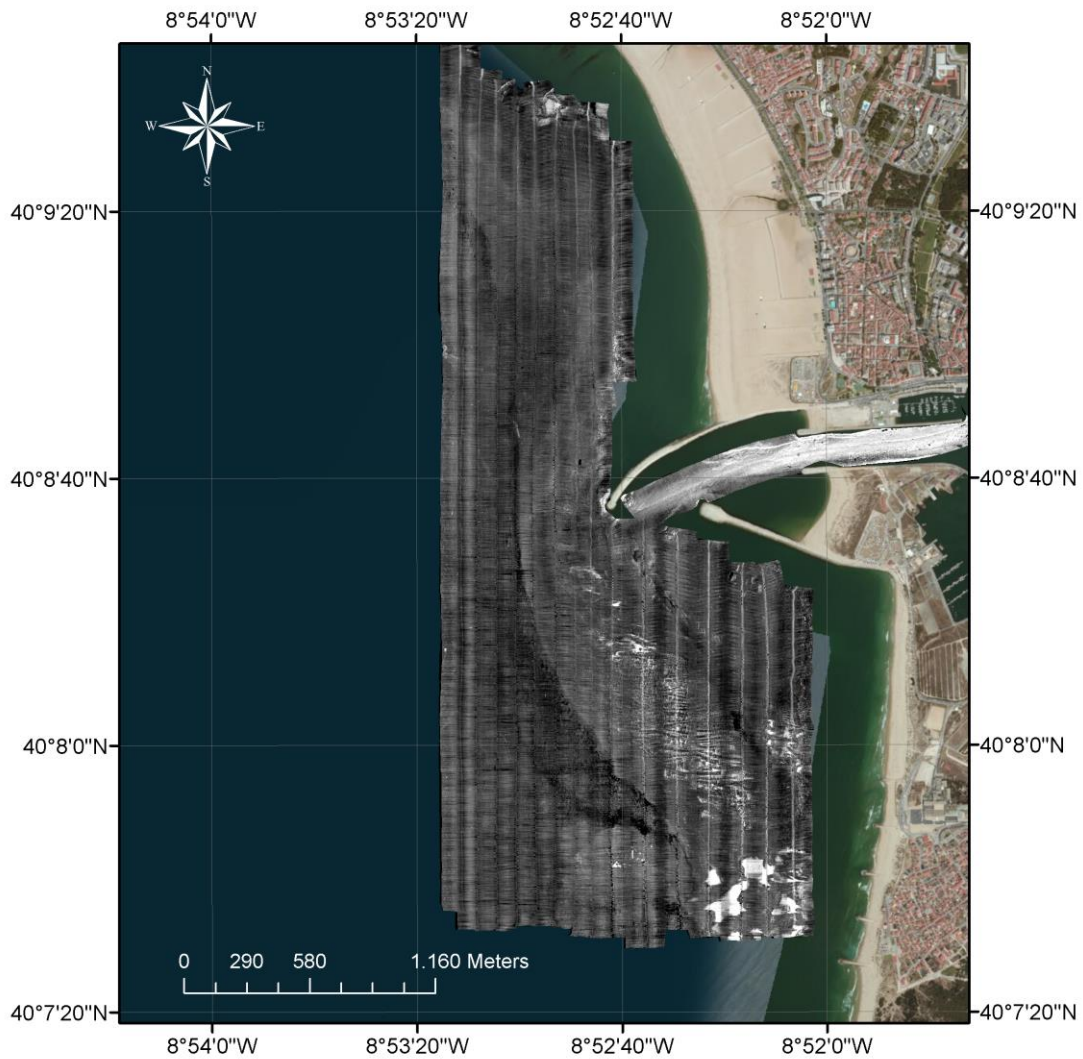


Figura V.10: Mosaico de sonar de varrimento lateral obtido no segundo levantamento geofísico, realizado na área do Porto da Figueira da Foz, nos dias 18-20 de setembro de 2015. As refletividades mais altas, associadas a sedimentos mais grosseiros, estão representadas a tons de cinzento claro; as refletividades mais baixas, associadas a sedimentos mais finos, estão representadas a tons de cinzento-escuro. A gama de valores entre extremos é muito semelhante à do 1º mosaico e foram usados valores absolutos para a escala de cores em ambos os casos, e não valores relativos.

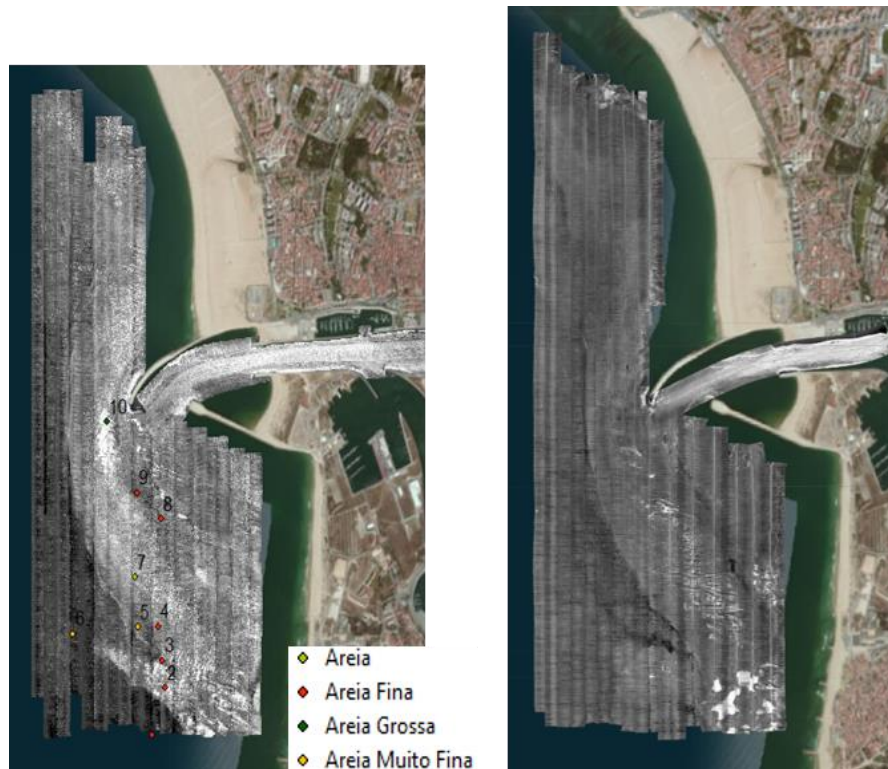


Figura V.11: Comparação entre os mosaicos de sonar de varrimento lateral obtidos nos 2 levantamentos realizados. O primeiro levantamento, efetuado em dezembro de 2014 está representado à esquerda, o segundo levantamento, realizado em setembro de 2015 está representado à direita.

Recorrendo a dois levantamentos batimétricos realizados (Figura V.12) que mostram a evolução batimétrica entre os dois levantamentos geofísicos, pode-se observar que houve uma diminuição geral das cotas batimétricas. Tendo em conta este aspeto e a homogeneidade de sedimentos observada no segundo levantamento, conclui-se que não houve remoção de sedimentos mas pelo contrário, praticamente toda a zona de estudo foi recoberta por sedimentos mais finos, com a exceção de algumas zonas isoladas.

Outro fator a ter em conta é o facto da zona de estudo se encontrar na embocadura do rio Mondego. Como foi referido no Capítulo II o caudal do rio Mondego no inverno é cerca de dez vezes superior ao caudal no verão. Esta diferença significativa pode ser uma das razões pela qual no mosaico de dezembro de 2014 se observam refletividades correspondentes a areias grosseiras e no mosaico de setembro de 2015 não existem refletividades tão altas e consequentemente não estamos na presença de areia grosseira. Aliás, em ambos os mosaicos verificamos que dentro do canal as refletividades altamente energéticas; no entanto podemos observar que no mosaico do levantamento de setembro de 2015 essa refletividade vai diminuindo, ainda dentro do canal, à medida que nos dirigimos para a embocadura.

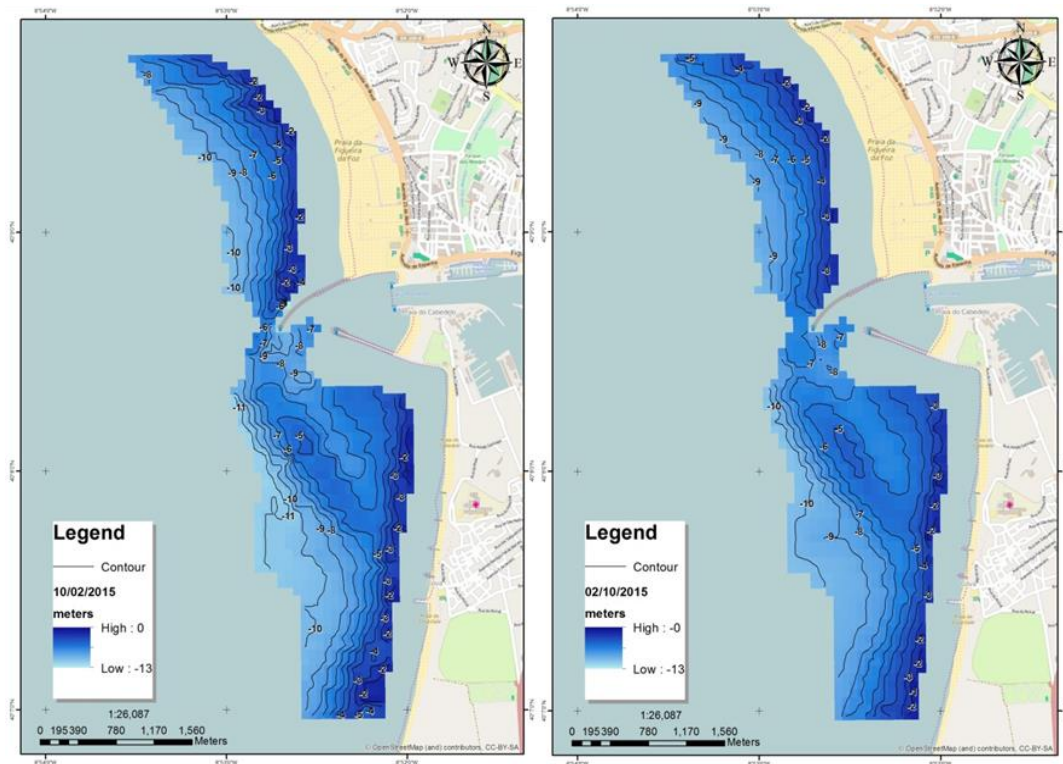


Figura V.12: Levantamento batimétricos realizados pela Universidade de Aveiro para a Administração do Porto da Figueira da Foz. À esquerda temos o levantamento batimétrico de 10 de fevereiro de 2015; à direita levantamento batimétrico de 2 de outubro de 2015 (APA 2015).

A nível do padrão de sedimentação na área de estudo, observa-se que de uma forma geral, estes são muito idênticos nos dois mosaicos. Verifica-se que o molhe norte apresenta um fator muito importante relativamente ao padrão sedimentar da zona de estudo, pois em ambos os casos parece existir uma relação entre a configuração do padrão de sedimentação e a configuração do molhe norte.

Relativamente às estruturas de fundo, continuam igualmente presentes mas numa quantidade muito inferior. A Figura V. 13 mostra a localização das zonas do mosaico (A, B e C) que foram selecionadas para ilustrar os detalhes das formas de fundo deste mosaico. Foram escolhidas as mesmas zonas que para o mosaico do primeiro levantamento (Figura V. 5 e Figura V.12).

Na zona B, zona mais a sul (Figura V. 14 ver localização na Figura V. 13), pode-se ver pormenorizadamente um grande campo de *megaripples* de oscilação assimétrica bem definidos e que se estende para Este em direção à costa. Observa-se o mesmo tipo estrutura que presente no mosaico do primeiro levantamento (Figura V.6), mas a sua disposição é bastante diferente pois neste caso, o campo de *megaripples* de oscilação assimétrica apresenta uma grande continuidade e não intercalado com sedimentos mais finos. Tal pode significar que a formação destas estruturas ocorreu recentemente relativamente à data em que se executou a campanha.

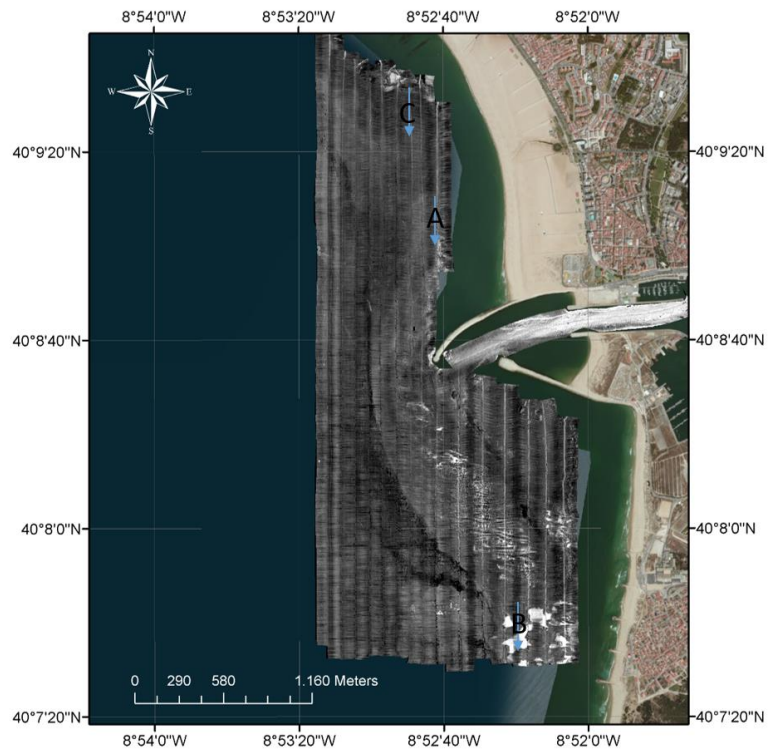


Figura V.13: Mosaico de sonar de varrimento lateral com a localização das Zonas A B e C, ilustradas em detalhe nas Figuras V. 14, V. 15 e V. 16).

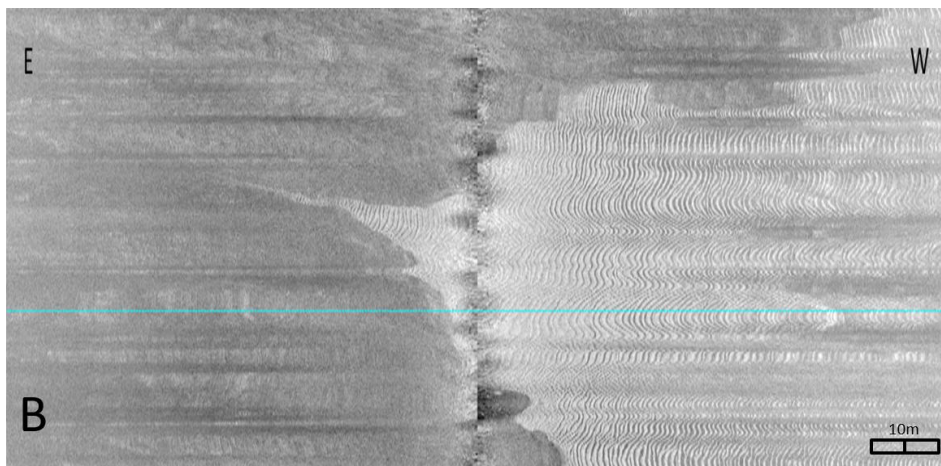


Figura V.14: Detalhe da zona B (localização Figura V. 13) no qual podem ser identificadas estruturas com megaripples de oscilação assimétrica bem definidos.

84| Interpretação dos Mosaicos de Sonar de Varrimento Lateral e dos Perfís de Chirp Sonar

Na zona C, local mais a norte (Figura V. 15 ver localização Figura V. 13) observa-se uma área com alguns *megaripples* de oscilação assimétrica intercalados com areia mais fina. É importante salientar que a existência de estruturas nesta zona é pontual ao contrário da zona B. Comparativamente ao mosaico do primeiro levantamento existe uma alteração da estrutura de fundo apresentada, sendo que agora estamos na presença de *megaripples* de oscilação assimétrica e não *megaripples* de estratificação cruzada (Figura V. 15 e Figura V. 7). Esta alteração demonstra que existiu uma diferença na dinâmica da zona de estudo nas diferentes alturas do ano em que

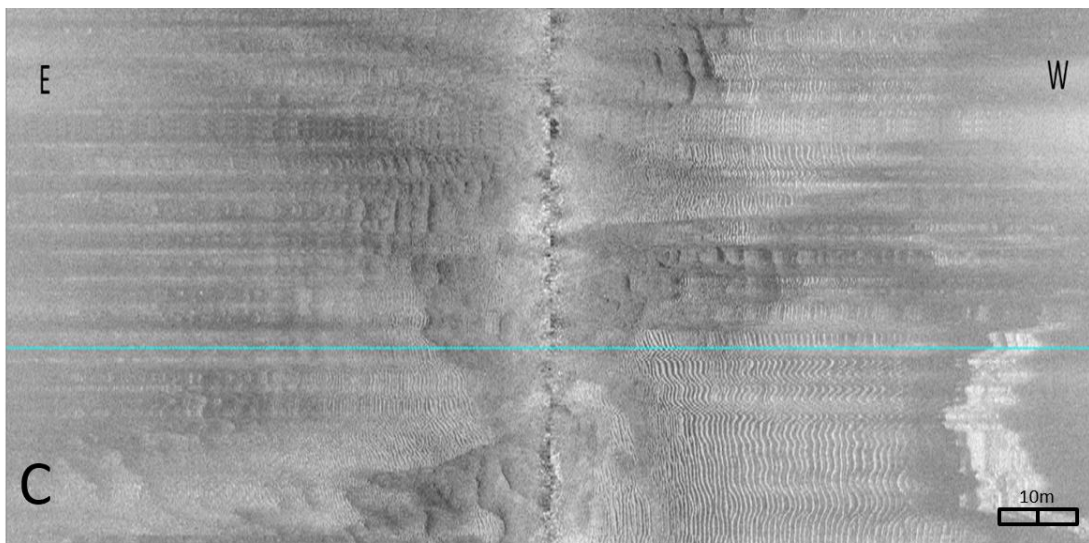


Figura V.15: - Detalhe da zona C (localização Figura V. 13) onde podem ser identificados padrões de megaripples de oscilação assimétrica.

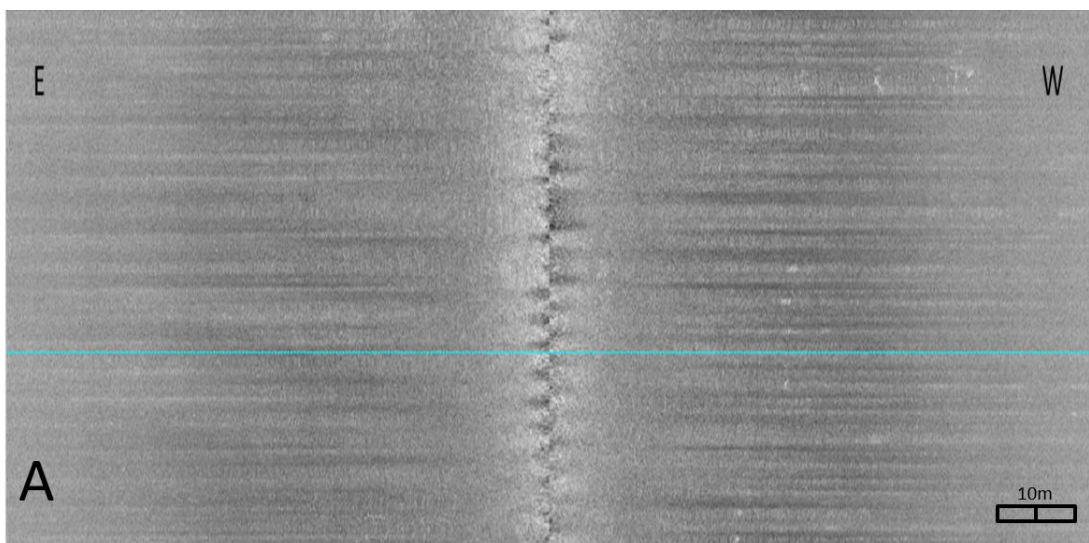


Figura V.16: Detalhe da zona A (localização Figura V. 13) onde não se observa qualquer tipo de estruturas sedimentar.

foram realizados os levantamentos, sendo que para a formação de *megaripples* de estratificação cruzada é necessário um ambiente mais dinâmico do que para a formação de *megaripples* de oscilação assimétrica.

Por último na Figura V. 16 (Zona A na Figura V. 13) não é observado qualquer tipo de estruturas sedimentares, ao contrário do observado na Figura V. 8 onde eram visíveis *megaripples* de estratificação cruzada e *megaripples* de oscilação assimétrica. Este fato permite aferir que a dinâmica nesta zona nesta altura do ano é inferior àquela apresentada aquando o primeiro levantamento geofísico.

A presença de apenas um tipo de estrutura sedimentar em toda a zona de estudo indica que não houve grandes diferenças de fluxo ao longo de toda a zona de estudo. O facto de as *megaripples* de estratificação cruzada terem desaparecido e a presença de *megaripples* de oscilação assimétrica ter diminuído bastante, de um levantamento para o outro, indica que houve alterações a nível do fluxo na zona de estudo. Este facto já era espectável pois, apesar do segundo levantamento ter sido realizado na época de Marés Vivas Equinociais, a diferença da dinâmica costeira entre o fim do verão e fim do outono é muito elevada.

Na Figura V. 17 pode-se visualizar a projecção do mosaico sobre a batimetria de 2 de outubro de 2015. Neste caso já não se observam sedimentos mais grosseiros no topo do banco sedimentar.

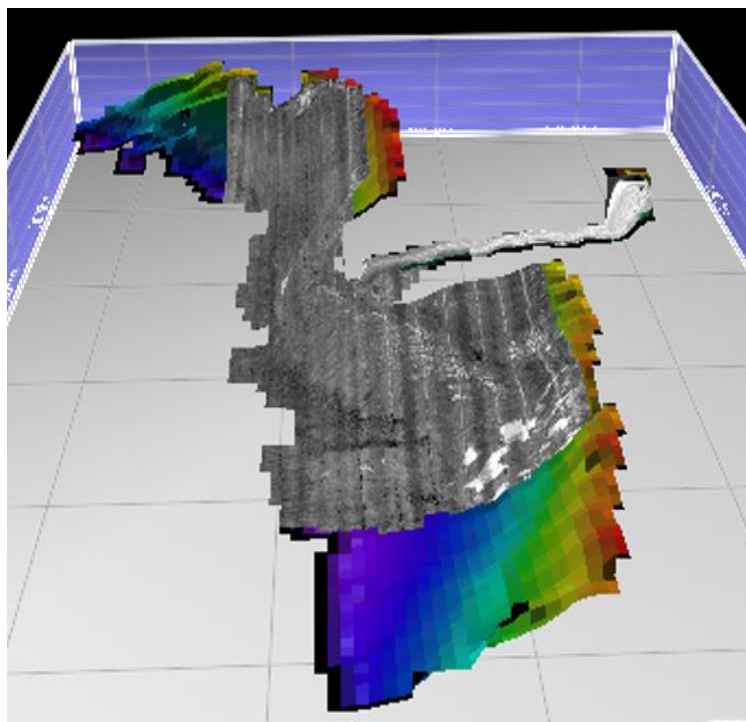


Figura V.17: Mosaico de sonar de varrimento lateral do levantamento FFOZ_2015 projetado sobre a batimetria de 2 de outubro de 2015.

Por outro lado é possível fazer uma correlação entre as zonas de maior declive batimétrico e a formação de estruturas sedimentares, uma vez que neste caso elas praticamente só se formaram na zona onde o fundo marinho apresenta um maior declive.

V.2. Interpretação dos perfis de *Chirp* Sonar

Como já foi referido, apesar de a interpretação dos dados de reflexão sísmica estar fora do âmbito desta dissertação, realizou-se no entanto uma interpretação sumária de alguns dos perfis sísmicos (Figura V.19, V.21, V.23 e V.25), onde foram identificadas três unidades sismo-estratigráficas principais (U1, U2 e U3). Estas 3 unidades distinguem-se pelo carácter das suas reflexões e pela presença de horizontes bem definidos que as delimitam.

A interpretação foi realizada apenas em perfis adquiridos na zona sul do local de estudo, pois a qualidade dos dados é melhor e apresenta uma maior simplicidade a nível da geologia de sub-superfície (Figura V. 18). A zona norte apresenta uma maior complexidade estrutural e os perfis adquiridos apresentam uma maior dificuldade de interpretação, pelo que serão objecto de um estudo posterior.

Foram interpretadas quatro secções sísmicas: duas secções com orientação N-S e duas com orientação E-W (Figura V. 18). Todos os perfis estão representados em tempo de ida e volta (*TWT- Two Way Time*) e não em profundidade. A conversão para profundidade exige saber a velocidade de propagação das Ondas-P nas várias camadas, o que não é possível com dados monocal. Para este tipo de dados atribui-se geralmente um valor de velocidade, de 1700 m/s para todas as camadas sedimentares, uma vez que estas são bastante superficiais. Este valor pode ser posteriormente calibrado, recorrendo a sondagens, para uma interpretação mais pormenorizada. A título de exemplo, se uma unidade tem uma “espessura” em tempo de ida e volta de 10ms e se a velocidade do som nessa unidade é de 1700m/s, então esta unidade tem cerca de $((1700/2) \times 0.010) = 8,5$ metros. A interpretação preliminar do tipo de formações que provavelmente constitui estas unidades for baseada dos relatórios de sondagens realizadas em 1968 e 1971 por Construções Técnicas Lda., cedidos pela APA para a realização do projeto de investigação em que se insere este trabalho.

Para a interpretação destes perfis teve-se em conta sondagens realizadas por Construções Técnicas, Lda para a Administração do Porto da Figueira da Foz e a carta geológica desta zona (Figura II.4).

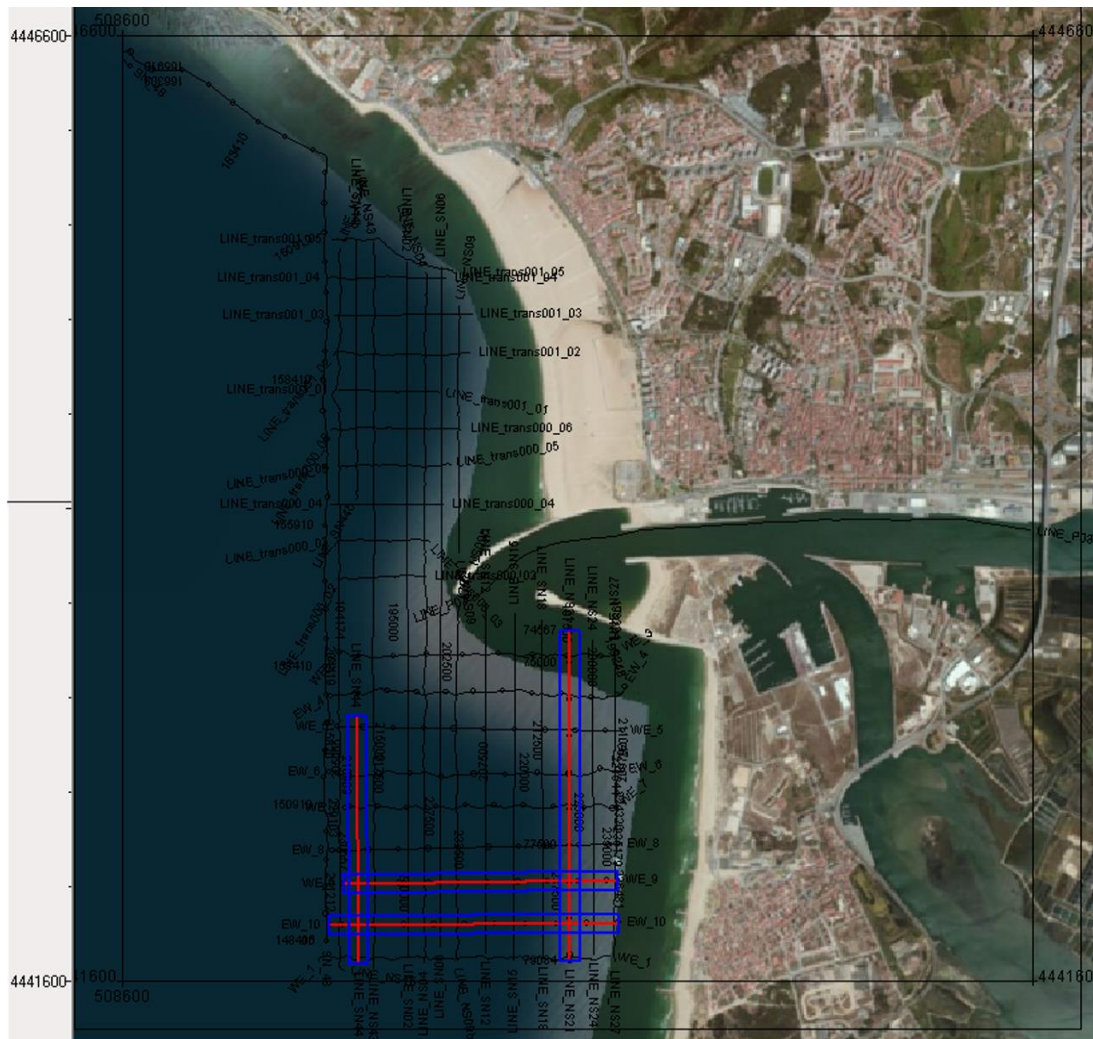


Figura V.18: Localização das linhas sísmicas adquiridas nas 2 campanhas geofísicas referidas neste trabalho. A vermelho estão representadas os perfis sísmicos que foram interpretados.

UNIDADE 1 (U1)

A unidade 1 está representada a amarelo nas Figuras, V. 20, V. 22, V. 24, V. 26. Esta unidade sismo-estratigráfica está limitada no topo pelo fundo do mar e na base pelo topo da unidade U2. Esta unidade apresenta um carácter heterogéneo e uma espessura que varia entre cerca de 2,5m e 5m. Poderá estar relacionada com sedimentos menos consolidados e consequentemente mais recentes, do Quaternário, sendo provavelmente constituída por aluviões e areias do Holocénico.

Unidade 2 (U2)

Representada a vermelho nas Figuras V. 20, V. 22, V. 24, V. 26, esta unidade sismo-estratigráfica está limitada no topo pela base da Unidade 1 e na base pelo topo da Unidade 3. A sua espessura varia entre os 2m e os 11m e apresenta um carácter homogéneo. Poderá corresponder a sedimentos argilosos do Paleogénico.

Unidade 3 (U3)

A unidade 3 está representada a verde nas Figuras V. 20, V. 22, V. 24, V. 26. Esta unidade está limitada no topo pela base da Unidade 2 e em alguns locais apresenta um carácter difuso e de difícil interpretação; não foi possível identificar a sua base, devido ao múltiplo, e à limitada penetração da sísmica. Esta unidade ocorre a profundidades variáveis, entre os 5m e os 13.5m aproximadamente. Ao contrário das outras duas unidades definidas esta não está visível ao longo da totalidade dos perfís interpretados (Figura V.22). Poderá corresponder aos calcários do Cretácico (Figura II. 4). A definição da profundidade a que se encontra o topo desta unidade é importante pois define o limite provavelmente mais facilmente dragável da zona de estudo.

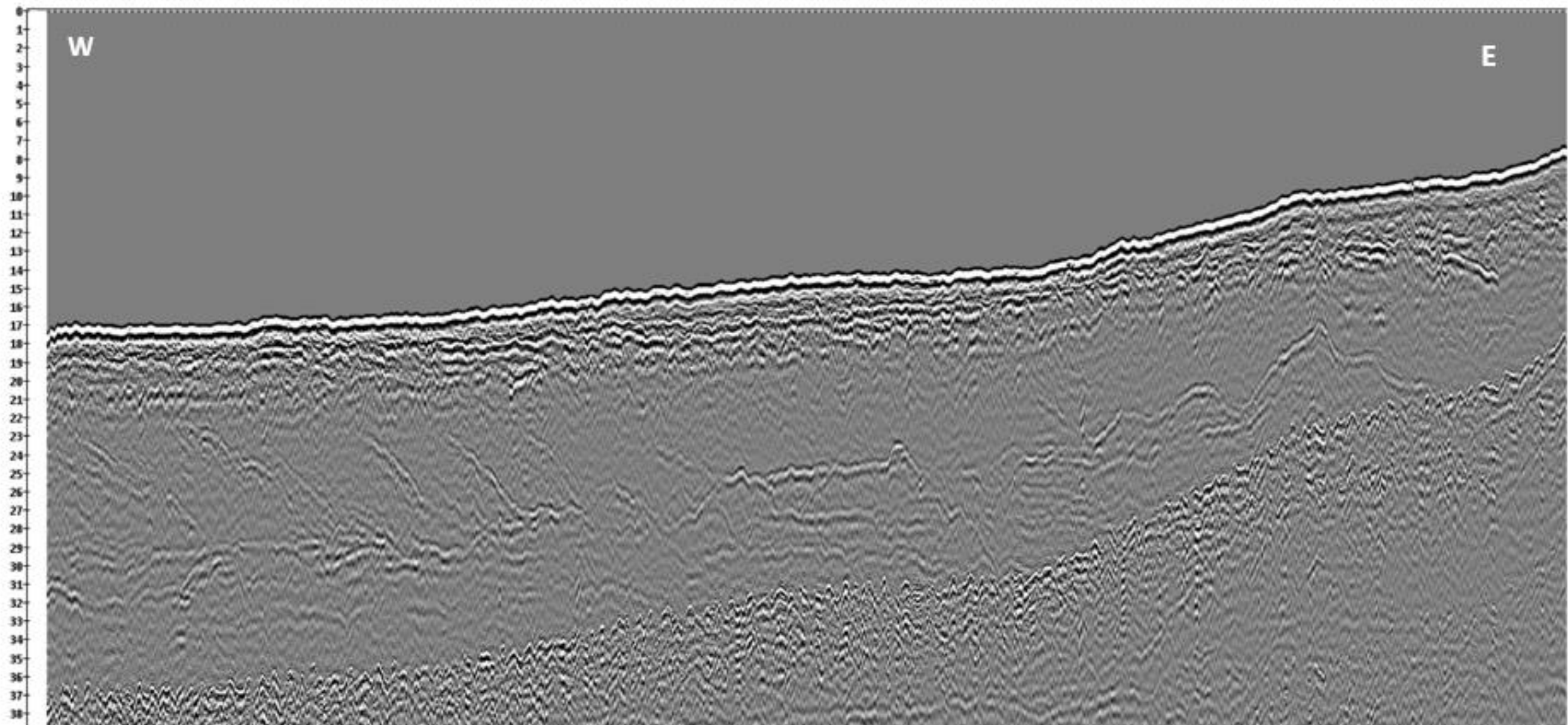


Figura V.19: Perfil de reflexão sísmica EW_09 situado na zona sul da área de estudo. O perfil está representado de Oeste para Este. Para ver a sua localização consultar Figura V. 18. A escala vertical corresponde ao tempo de ida e volta (TWT) em milissegundos.

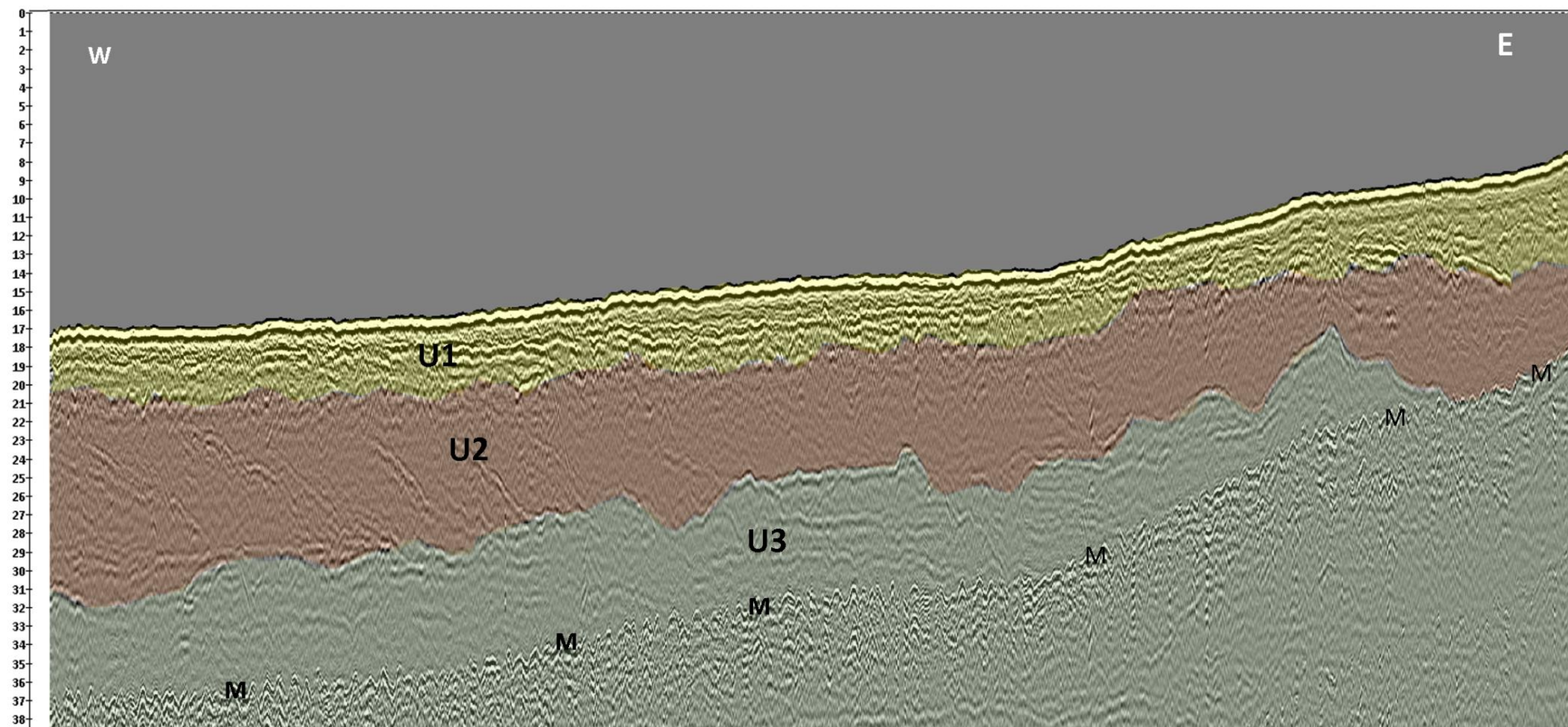


Figura V.20: Perfil de reflexão sísmica EW_09 situado na zona sul da área de estudo. O perfil está representado de Oeste para Este. Para ver a sua localização consultar Figura V. 18. A escala vertical corresponde ao tempo de ida e volta (TWT) em milissegundos. Estão representadas as Unidades definidas (U1, U2 e U3), e o múltiplo da interface água/sedimento (M).

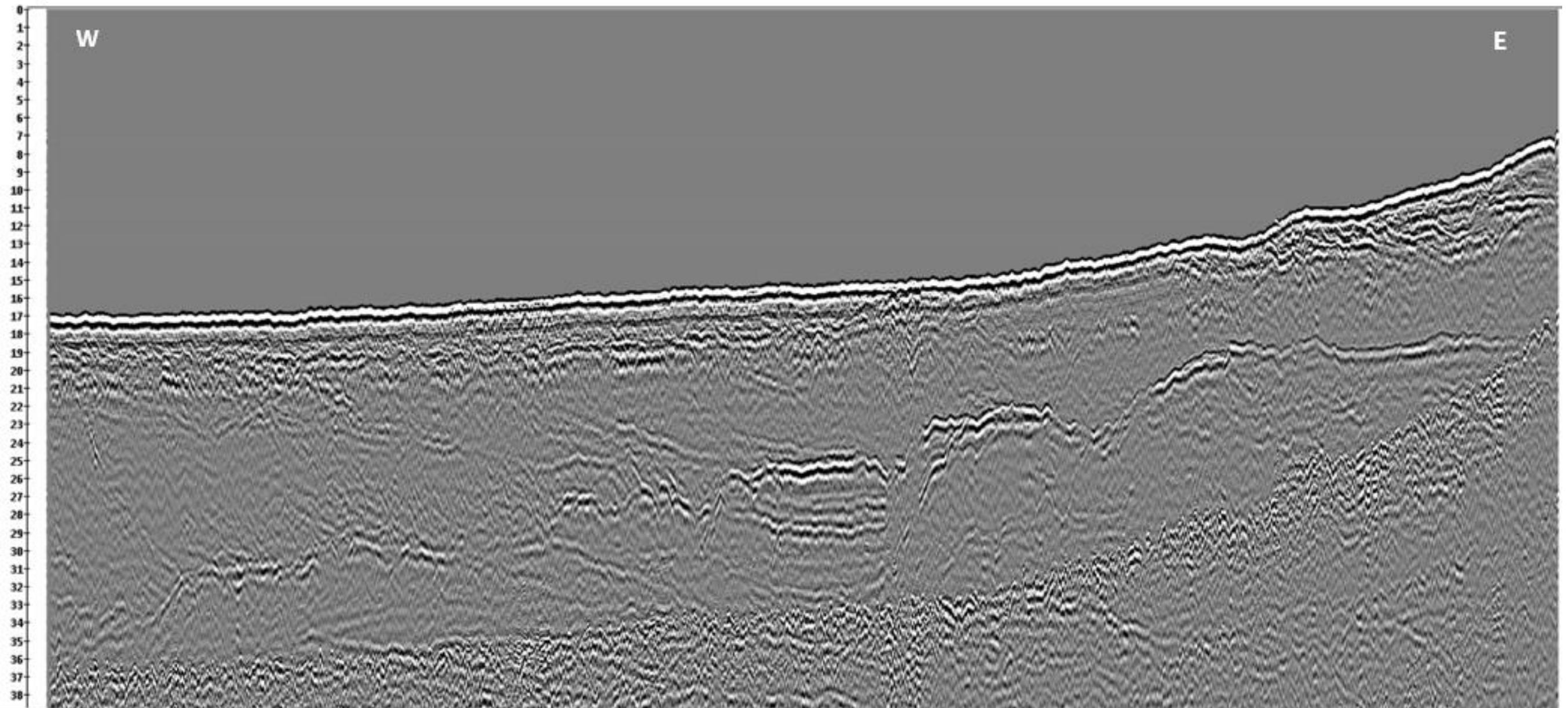


Figura V.21: Perfil de reflexão sísmica EW_10 situado na zona sul da área de estudo. O perfil está representado de Oeste para Este. Para ver a sua localização consultar Figura V. 18. A escala vertical corresponde ao tempo de ida e volta (TWT) em milissegundos.

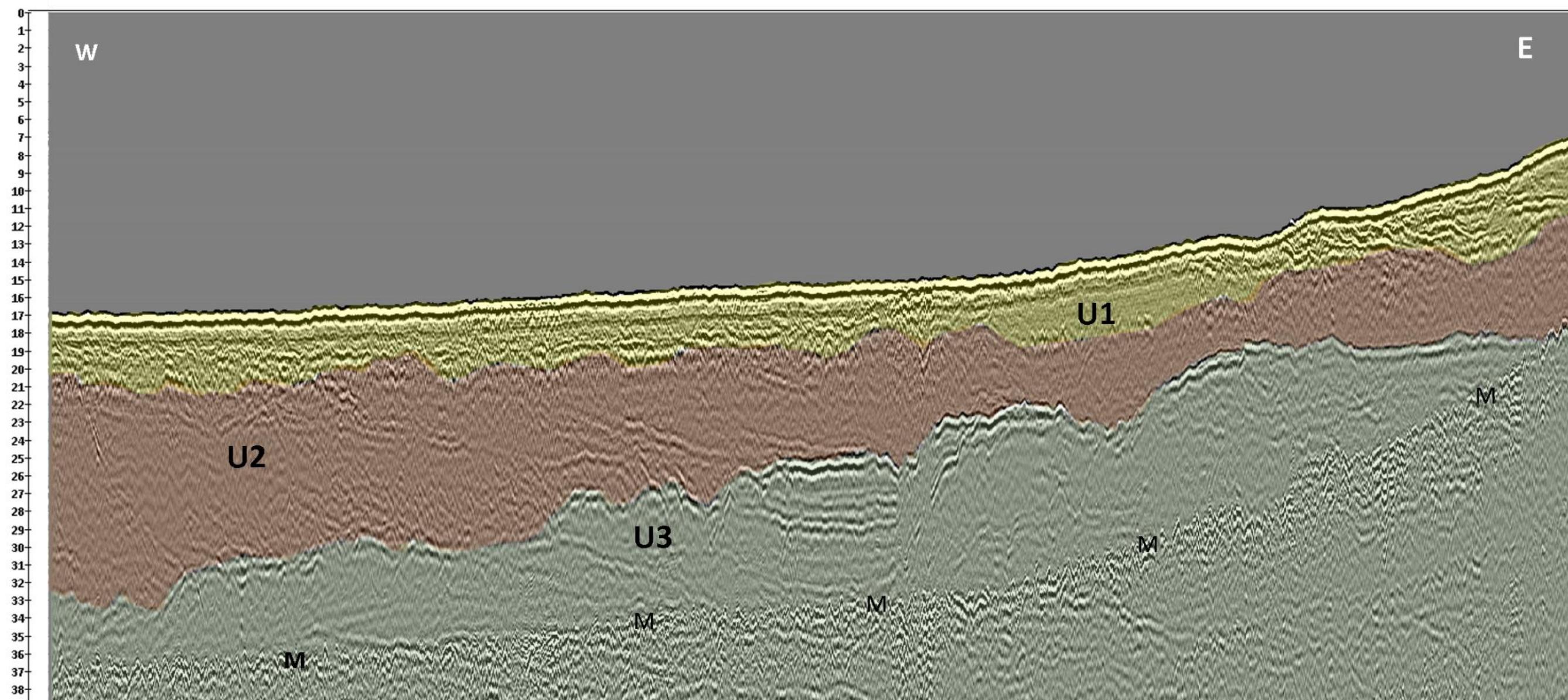


Figura V.22: Perfil de reflexão sísmica EW_10 situado na zona sul da área de estudo. O perfil está representado de Oeste para Este. Para ver a sua localização consultar Figura V. 18. A escala vertical corresponde ao tempo de ida e volta (TWT) em milissegundos. Estão representadas as Unidades definidas (U1, U2 e U3), e o múltiplo da interface água/sedimento (M).

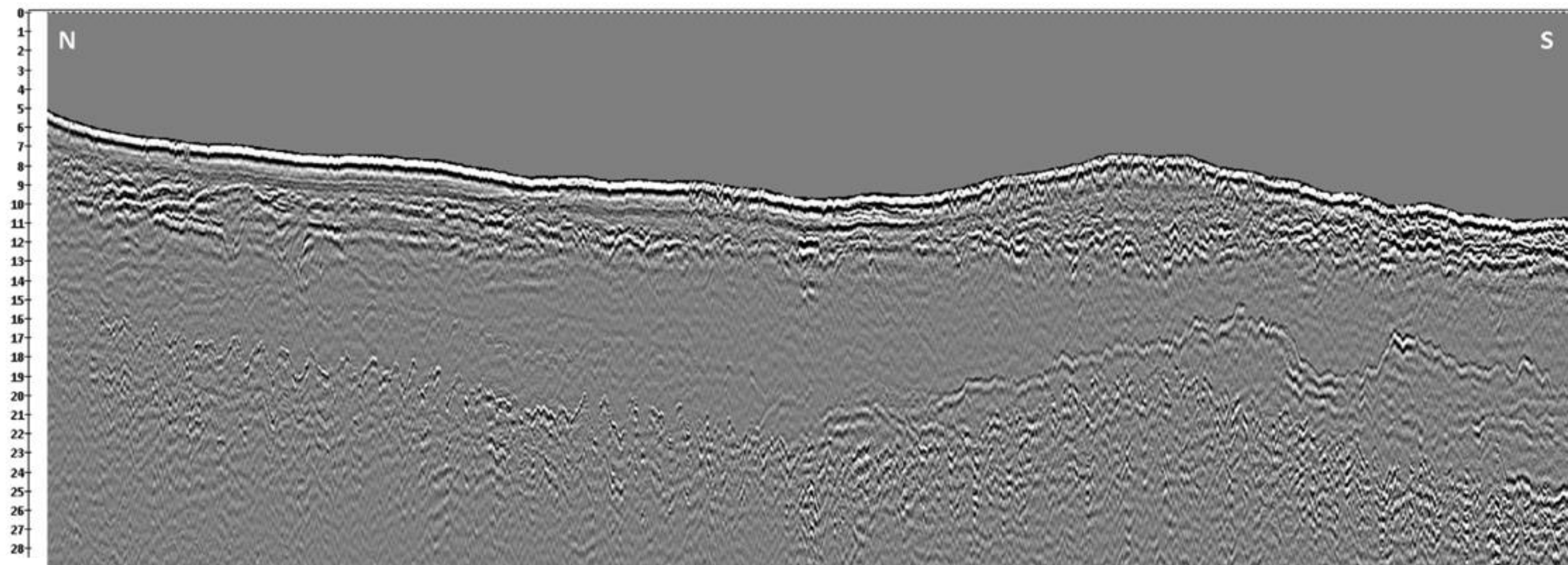


Figura V.23: Perfil de reflexão sísmica NS_21, situado junto à costa na zona sul da área de estudo. O perfil está representado de Norte para Sul. Para ver a sua localização consultar Figura V. 18. A escala vertical corresponde ao tempo de ida e volta (TWT) em milissegundos.

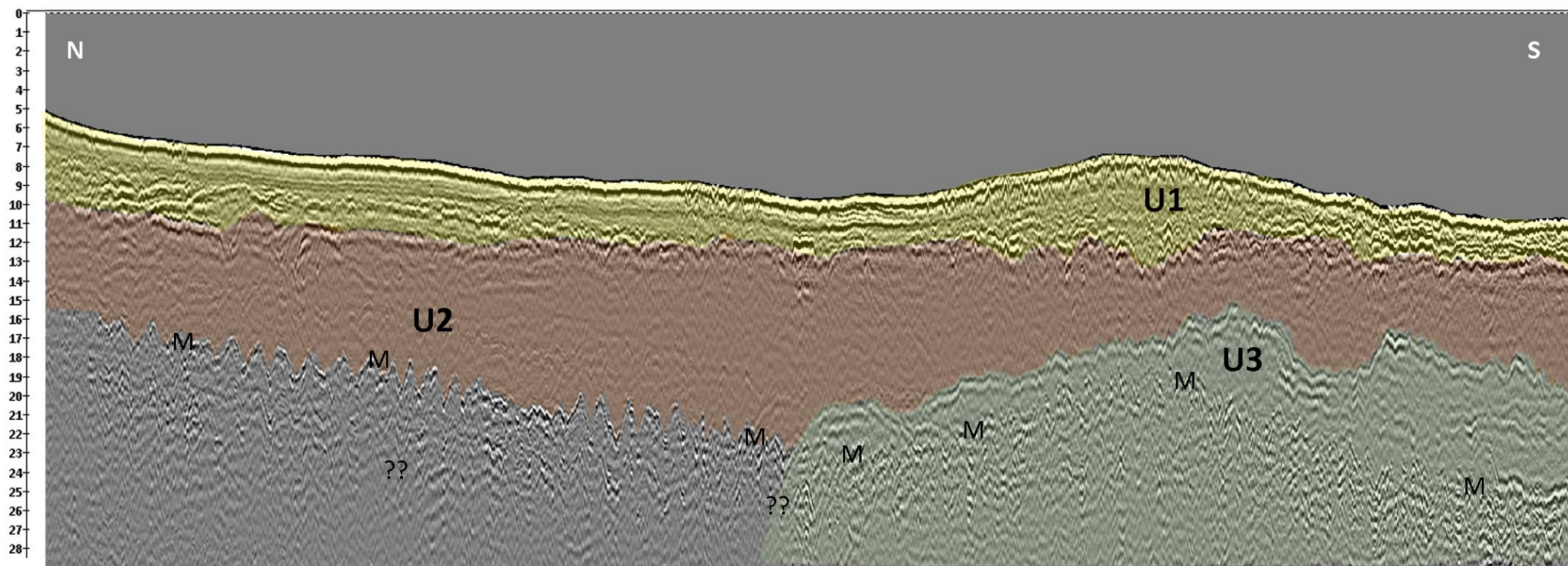


Figura V.24: Perfil de reflexão sísmica NS_21, situado junto à costa na zona sul da área de estudo. O perfil está representado de Norte para Sul. Para ver a sua localização consultar Figura V. 18. A escala vertical corresponde ao tempo de ida e volta (TWT) em milissegundos. Estão representadas as Unidades definidas (U1, U2 e U3), e o múltiplo da interface água/sedimento (M).

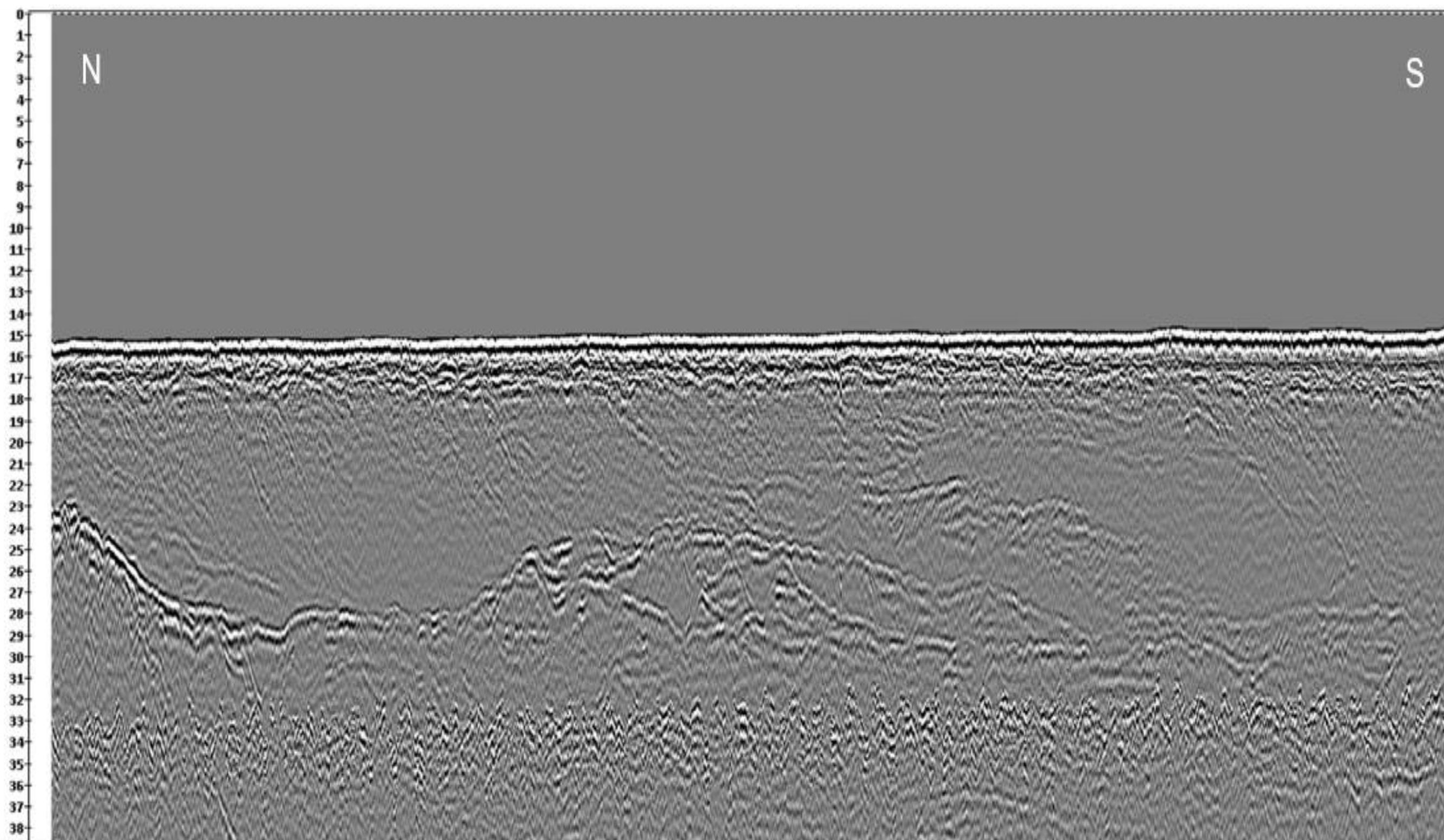


Figura V.25: Perfil de reflexão sísmica NS_44, situado na zona mais ao largo e sul da área de estudo. O perfil está representado de Norte para Sul. Para ver a sua localização consultar Figura V. 18. A escala vertical corresponde ao tempo de ida e volta (TWT) em milissegundos.

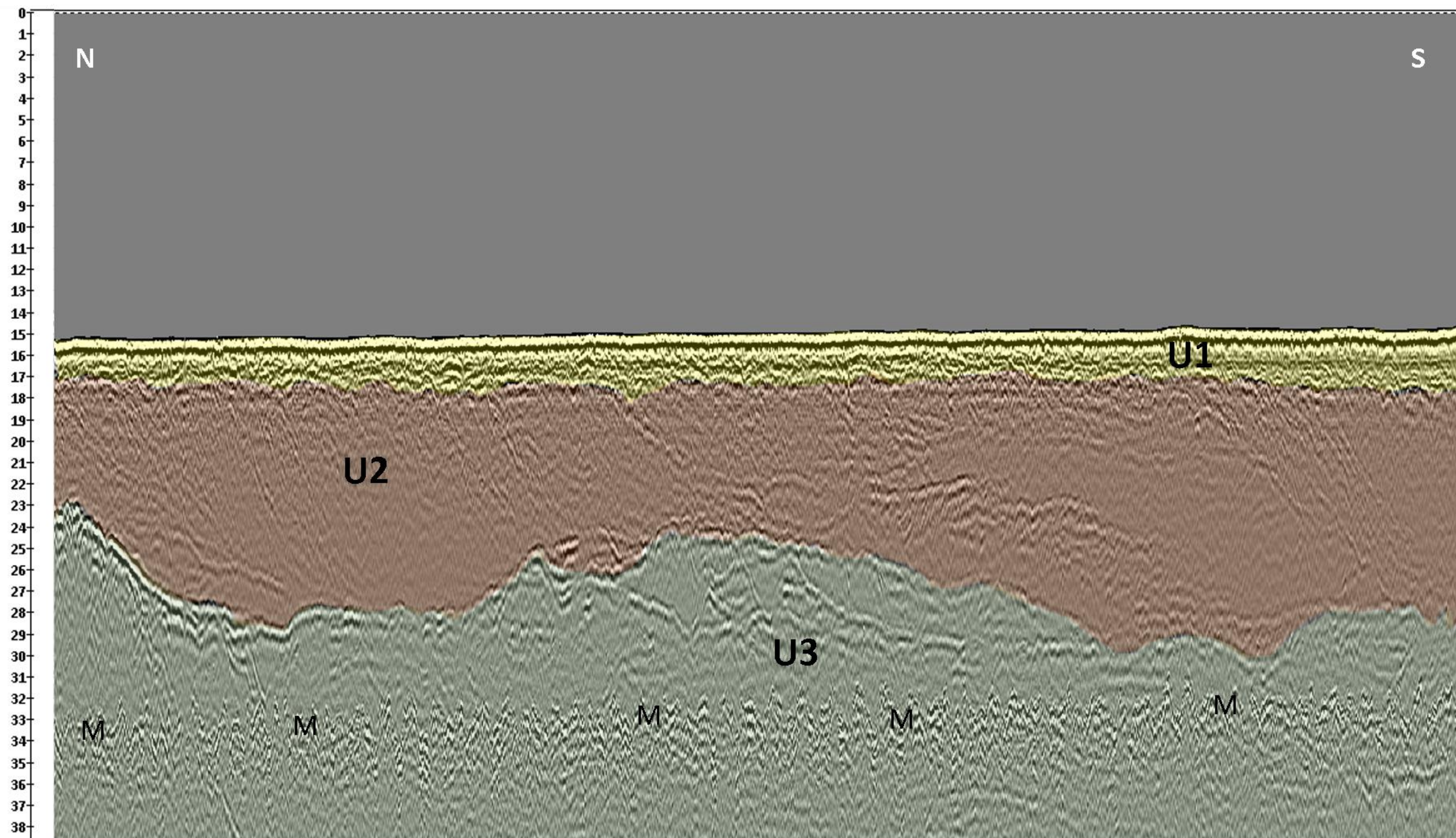


Figura V.26: Perfil de reflexão sísmica NS_44, situado na zona mais ao largo e sul da área de estudo. O perfil está representado de Norte para Sul. Para ver a sua localização consultar Figura V. 18. A escala vertical corresponde ao tempo de ida e volta (TWT) em milissegundos. Estão representadas as Unidades definidas (U1, U2 e U3), e o múltiplo da interface água/sedimento (M).

VI. Conclusões

A caracterização de sedimentos modernos nos ambientes da plataforma continental interna é importante para conhecer a distribuição espacial dos vários tipos de sedimentos de fundo, compreender os processos morfo-hidrodinâmicos envolvidos na sua deposição e para efeito de dragagens. A distribuição sedimentar reflete a importância das diferentes fontes de sedimentação na zona estudada, assim como os processos como a ondulação, agitação marítima e correntes de deriva litoral. A caracterização deste tipo de plataforma continental e a compreensão dos mecanismos que geram a dinâmica deposicional têm vindo a ser melhorados recorrendo aos dados geofísicos recolhidos através de sonar de varrimento lateral e *Chirp* sonar.

As condições de aquisição, principalmente as condições de agitação marítima, influenciam bastante a qualidade dos dados de sonar de varrimento lateral e de *Chirp* sonar adquiridos. Más condições de aquisição implicam um processamento muito demorado e trabalhoso dos dados adquiridos, de modo a ser possível realizar a sua interpretação. No entanto, produzem informação fundamental para o estudo destes processos e para a caracterização dos vários tipos de sedimentos de fundo e da sua espessura em profundidade.

De modo a proceder-se a uma interpretação correta da distribuição sedimentar do fundo marinho nos mosaicos de sonar de varrimento lateral é necessário obter uma boa cobertura de amostras sedimentares, pois é o estudo da sua granulometria que vai permitir calibrar e validar a interpretação do mosaico.

O estudo apresentado investiga os aspetos morfológicos e o transporte sedimentar na costa da Figueira da Foz. Os resultados obtidos permitiram uma análise da morfologia de fundo e dos padrões de sedimentação, assim como a caracterização dos vários tipos de sedimentos de fundo e a sua distribuição espacial, complementadas com a identificação e estima local das espessuras das principais camadas geológicas de subsuperfície.

Foi possível verificar que a dinâmica da zona de estudo varia bastante do inverno para o verão, pois a distribuição sedimentar sofre grandes alterações de um período para o outro, e a presença de estruturas sedimentares nos dois mosaicos obtidos apresentam algumas diferenças. Os mosaicos permitem analisar em detalhe essas alterações.

É também possível verificar que o padrão das correntes de deriva litoral apresenta semelhanças entre ambos os períodos de aquisição, e que o molhe norte é um fator a ter em conta no transporte sedimentar e acumulações sedimentares nesta zona.

98| Conclusões

Os dados de sonar de varrimento lateral em conjunto com um bom levantamento batimétrico permitem uma interpretação ainda mais profunda dos padrões de sedimentação e dos processos envolvidos na formação de estrutura de fundo.

Recorrendo aos perfis sísmicos foi possível identificar as principais unidades de sub-superfície e a sua respetiva espessura sendo que estas não variam muito ao longo da zona sul da área de estudo. A profundidade a que se encontra o topo do soco nesta zona varia entre os 5m e 13.5m em relação ao fundo marinho. Para uma interpretação mais exata dos perfis sísmicos é necessário recorrer a sondagens.

Trabalho futuro

Trabalho futuro a realizar para melhorar esta investigação e obter uma interpretação mais completa da dinâmica sedimentar da zona de estudo, incluirá:

A realização da análise granulométrica, geoquímica e mineralógica, das 36 amostras sedimentares adquiridas no segundo levantamento geofísico, de modo a ser possível identificar com bastante precisão a origem dos sedimentos e calibrar o 2º mosaico de sonar de varrimento lateral.

A interpretação integrada dos perfis sísmicos já processados juntamente com sondagens realizadas em locais específicos, o que irá contribuir para um melhor conhecimento da geologia de sub-superfície da região e determinação da espessura das várias formações geológicas.

Os resultados da caracterização do ambiente deposicional da costa da Figueira da Foz e a sua dinâmica poderão ser uma ferramenta importante na gestão da evolução costeira desta zona que apresenta alguns problemas relativos à deposição sedimentar, principalmente na embocadura do Rio Mondego.

Bibliografia

APA, 2015. Estudo da Dinâmica Sedimentar na Embocadura da Barra do Porto da Figueira da Foz. Relatório técnico, Administração do Porto de Aveiro, S.A., Aveiro, 198pp

Abecasis, F., Matia, M. F., Reis de Carvalho, J. J., Vera-Cruz, D., 1962. Methods of determining sand and silt movement along the coast, in estuaries and in maritimic rivers. Technical Paper, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Ministério das Obras Publicas, Lisboa, 186pp.

Andrade, C., Freitas, M.C., 2010. Conteúdos geomorfológicos do litoral de Portugal. In Ciências Geológicas – Ensino e Investigação e a sua História V1, 445-455.

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 Oceanologica*, 24, S67-S75.

Bird E., 2008. Coastal geomorphology: an introduction. 2nd edition Chichester: John Wiley & Sons;. 411p.

Blondel, P., 2009. The Hand Book of Sidescan Sonar. Chichester, UK: Springer, Praxis Publishing, 318p.

Blott, S.J. Pye, K., 2001. Gradistat: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surf. Proces. Landf.*, 26pp, 1237–1248.

Boillot, G. and Capdevila, R., 1977. The Pyrenees: Subduction and collision?. *Earth Planet Sci. Lett.*, 35, 151-160.

Boillot, G., Auxière, J. L., Dunand, J. P., Dupeuble, P. A. and Mauffret, A., 1979. The Northwestern Iberia MArgin: a Cretaceous passive margin deformed during Eocene. In *Am. Geophy. Union, Maurice Ewing Ser., Deep Drilling Results in the Atlantic Ocean: Continental Margin and Paleoenvironment*, 3, 138-153.

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

Chavez, P.S., 1986. Processing techniques for digital sonar images from GLORIA, *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 52(8), 1133-1145.

Chian, D. P., Loudon, K. E., Minshull, T. A. and Whitmarsh, R. B., 1999. Deep structure of the ocean-continent transition in the southern Iberia Abyssal Plain from seismic refraction profiles: Ocean Drilling Program (Legs 149 and 173) transect. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth*, 104(B4), 7443-7462.

Coelho, H. M., 2001. Modelação de Processos Físicos Relacionados com a Circulação Oceânica na Margem Continental Ibérica. Tese de Doutoramento em Engenharia do Ambiente, Universidade Técnica De Lisboa, Instituto Superior Técnico, 272 pp.

100| Bibliografia

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. Universidade de Coimbra, 22pp.

DECO Geophysical, 2013. RadExPro Plus User Manual version 2013.1. DECO Geophysical – Software Company.

De Visser, A., 1996. Bed Forms: Geological Effects of Bottom Currents. Port Hueneme, Naval Facilities Engineering Service Center.

Fiuza, A. F. G., Macedo, M. E., Guerreiro, M. R., 1982. Climatological space and time variation of the Portuguese coastal upwelling. *Oceanologica Acta*, 5, 31-40.

Fournier, J., Baltzer, A., Godet, L., Panizza, A., 2010. Acoustic Imagery for Benthic Habitats Mapping and Monitoring. Nova Science Publishers, 15.

Galdeano, A., Moreau, M. G., Pozzi, J. P., Berthou, P. Y. and 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.

Gonçalves, D.M.S., 2009. Estudo da Evolução de um Área de Extração de Areias da Margem Algarvia. Tese de Mestrado Universidade de Aveiro, Aveiro, 148pp.

González, C. J. D., 1984. Estruturas sedimentares primárias. In *Ciclo de Seminarios de Sedimentologia*. División de Geología del I.G.M.E, V1.

Hatton, L., Worthington, M. H. and Makin, J., 1986. *Seismic Data Processing - Theory and Practice*, 177pp.

Henriques, V., Mendes, B., Pinheiro, L., Gonçalves, D., Long, D., 2012. Recommended Operating Guidelines (ROG) for sidescan sonars. Mesh Atlantic.

Hjulstrom, F., 1939. Transportation of Detritus by Moving Water. *Recent Marine Sediments*. D. D. Trask, Society of Economic Paleontologists, 5-31.

IM, 2004. Caracterização climática da Costa- Características do clima da Costa de Portugal Continental. Instituto de Meteorologia, 29 pp.

Jenyon, M. K. and Fitch, A. A., 1985. *Seismic Reflection Interpretation*. Geoexploration Monographs. Lubrecht & Cramer Ltd, 2nd Edition, 318pp.

Jonson, H. P., & Helferty, M., 1990. The Geological Interpretation of Side-Scan Sonar. *Reviews of Geophysics*, 28(4), 357-380.

Kearey, P., Brooks, M., 1991. *An Introduction to Geophysical Exploration*. Blackwell Science, 2nd Edition.

Kenov, I.A., Garcia, A.C., Neves, R., 2012. Residence time of water in the Mondego estuary (Portugal). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 106, 13-22.

Komar, P.D., 1976. *Beach Processes and Sedimentation*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.

Kullberg, J.C., Rocha, R.B., Soares, A.F., Rey, J.; Terrinha, P., Azerêdo, A.C., Callapez, P., Duarte, L.V., Kullberg, M.C., Martins, L., Miranda, J.R., Alves, C., Mata, J., Madeira, J., Mateus, O., Moureira, M., Nogueira, C.R., 2006. A Bacia Lusitaniana: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica. Lisboa : s.n..

Larangeiro, S. H. C. D. & Oliveira, F. S. B. F., 2003. Assessment of the longshore sediment transport at Buarcos Beach (West Coast of Portugal) through different formulations. Proceedings of CoastGis'03 (Genoa, Italy), 7pp.

L.N.E.C., 1961. Ensaios laboratoriais do Porto da Figueira da Foz- Estudo dos movimentos aluvionares na costa com o emprego de areias radioactivas. 3º Relatório do Lab. Nac. Eng. Civil, policopiado, Lisboa.

Magalhães, F.M.Q., 1999. Os Sedimentos Da Plataforma Continental Portuguesa: Contrastes Espaciais, Perspetiva Temporal, Potencialidades Económicas. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa, Lisboa, 289pp.

Marques F.F., 1997. As Arribas do Litoral do Algarve- Dinâmica, processos e mecanismos. Tese de Doutoramento, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, 556pp.

Marta-Almeida, M., Dubert, J., 2006. The structure of tides in the Western Iberian Region. Continental Shelf Research, 26, 385-400.

Nishimura, C., 1997. Fundamentals of Acoustic Backscatter Imagery. Washington DC: Naval Research Laboratory.

OIC, 2013. Oceanic Imaging Consultants. (n.d.). Disponível em: http://www.oicinc.com/history_sonars.html [Consultado em 23 novembro de 2013]

OzCoasts, 2013. Australia. Disponível em: http://www.ozcoasts.gov.au/geom_geol/toolkit/Tech_CA_sbp.jsp [Consultado em 22 de maio de 2014]

Peixoto, J.P., Oort, A.H., 1992. Physics of Climate. American Institute of Physics, New York, 520pp.

Pinheiro, L. M., Whitmarsh, R. B. and 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., 1994. The crustal structure under the Tagus Abyssal Plain and the ocean-continent transition off western Iberia. University of London.

Pinheiro, L.M., Teixeira, F.C., Gonçalves, D.S., Azevedo, L. e Ribeiro, T., 2011. Métodos geofísicos na planificação e monitorização de operações de dragagens e na prospecção de agregados na plataforma continental (in Portuguese). In Coelho, Silva, Pinheiro e Gonçalves (Eds.). Dragagens – Fundamentos Técnicas e Impactos. Edição Universidade de Aveiro, 119-150.

Pinheiro, L. M., Wilson, R. C. L., Penas dos Reis, R., Whitmarsh, R. B. and Ribeiro, A., 1996. The western Iberia Margin: a Geophysical and geological overview. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, 149.

102| Bibliografia

Quinn, R., J. M. Bull, J. K. Dix, 1998. Optimal Processing of Marine High-Resolution Seismic Reflection (Chirp) Data. *Marine Geophysical Researches*, 20, 13-20.

Radar Imagery, 2013. Disponível em: <http://hosting.soonet.ca/eliris/remotesensing/bl130lec13.html> [Consultado em 19 de março de 2013]

Reed, T. B., and D. Hussong, 1989. Digital image processing techniques for enhancement and classification of SeaMARC II side scan sonar imagery, *J. Geophys Res.*, 94, 7469-7490.

Rocha, R. B. & Soares, A. F., 1984. Algumas reflexões sobre a sedimentação jurássica na orla meso-cenozóica ocidental de Portugal. *Coimbra. Mem. Notícias* 97, 133-142.

Rocha, R. B., 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 Figueira da Foz. Ser. Geol. Portugal, 1-126, Lisboa.

Sawyer, D. S., Whitmarsh, R. B. and Klaus, A., 1994. Proc. ODP. College Station, TX (Ocean Drilling Program). Initial Repts, 149.

Schock, S. & LeBlanc, L., 1990. Chirp Sonar: new technology for sub-bottom profiling. *Sea Technol.*, 31(9), 35-43.

Schwartz, M., 2005. *Encyclopedia of Coastal Science*, 1213pp.

Srivastava, S. P. and Verhoef, J., 1992. Evolution of Mesozoic sedimentary basins around the North Central Atlantic: a preliminary plate kinematic solution. In *Geological Society Special Publication London, Basins of the Atlantic Seaboard: Petroleum Geology, Sedimentology and Basins Evolution.*, 62, 397-420.

Stoker, M.S., Pheasant, J.B., Josenhans, H., 1997. *Seismic Methods and Interpretation*. T.A. Davies, T. Bell, A.K. Cooper (Eds.), *Glaciated Continental Margins. An Atlas of Acoustic Images*, Chapman and Hall, London, 9-26.

Storbakk, Steffen, 2012. *De-noising of Marine Seismic Data*. Tese de Mestrado, Universidade de Oslo.

Terrinha, P., Matias, L., Vicente, J., Duarte, J., Luis, J., Pinheiro, L., Lourenco, N., Diez, S., Rosas, F., Magalhaes, V., Valadares, V., Zitellini, N., Roque, C., Victor, L. M. and 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.

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* V1, 417-433.

Tian, W. M., 2011, Side-scan sonar techniques for the characterization of physical properties of artificial benthic habitats, *Brazilian Journal of Oceanography*, 59 (S.I.), 77-90.

Trigo R. M., DaCâmara C.C., 2010. Circulation Weather Types and Their Influence on the Precipitation Regime in Portugal. *International Journal of Climatology*, Royal Meteorological Society, 1159-1581pp.

UGS, 2014. UGS Coastal and Marine Geology, Hole Coastal and Marine Science Center. Disponível em: woodshole.er.usgs.gov/operations/sfmapping/sonar.htm [Consultado em 12 de fevereiro de 2014]

Whitmarsh, R. B. and Miles, P. R., 1995. Models of the Development of the West Iberia Rifted Continental-Margin at 40-Degrees-30n Deduced from Surface and Deep-Tow Magnetic-Anomalies. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth*, 100(B3), 3789-3806.

Wilson, R. C. L., Hiscott, R. N., Willis, M. G. & Gradstein, F. M., 1989. The Lusitanian Basin of West Central Portugal: Mesozoic and Tertiary Tectonic, Stratigraphic, and Subsidence History. In Tankard, A. J. & Balkwill, H. (Eds.): *Extensional tectonics and stratigraphy of the North Atlantic margins*. Tulsa. AAPG Memoir 46, 341-361.

Yalin, M. S. , 1972. *Mechanics of Sediment Transport*. Oxford, Pergamon Press Ltd.

Yilmaz, O., 2001a. *Seismic Data Analysis: Processing, Inversion, and Interpretation of Seismic Data*. Society of Exploration Geophysicists, V1.

Yilmaz, O., 2001b. *Seismic Data Analysis: Processing, Inversion, and Interpretation of Seismic Data*. Society of Exploration Geophysicists, V2.

Anexos

Especificações dos veículos rebocadores 512C and 670D:



512C Tow Vehicle



670D Tow Vehicle

SIDE SCAN SONAR

Frequencies:	100/400 kHz 300/600 kHz
Expd Operating ranges (per side):	500 m (100 kHz) 230 m (300 kHz) 150 m (400 kHz) 120 m (600 kHz)
Output pulse energy:	4 j (100 kHz) 3 j (300 kHz) 2 j (400 kHz) 1 j (600 kHz)
Pulse length:	Up to 20 ms (100 kHz) Up to 12 ms (300 kHz) Up to 10 ms (400 kHz) Up to 5 ms (600 kHz)
Across track resolution:	6.3 cm (100 kHz) 2.8 cm (300 kHz) 1.8 cm (400 kHz) 1.4 cm (600 kHz)
Along track resolution:	1.9 m @ 100 m (100 kHz) 1.0 m @ 100 m (300 kHz) 0.96 m @ 100 m (400 kHz) 0.45 m @ 100 m (600 kHz)
Horizontal beam width:	1.08° (100 kHz) 0.6° (300 kHz) 0.56° (400 kHz) 0.26° (600 kHz)
Transducer array depression angle:	26° downward
Dynamic range:	24 bits
Vertical beam width:	50°



512C Tow Vehicle



670D Tow Vehicle

Size:	160.0 cm (63.0 in.) long 124.0 cm (48.8 in.) wide 47.0 cm (18.5 in.) high, incl. tail fin	145.0 cm (57.1 in.) long 74.0 cm (29.1 in.) wide, incl. tail fins 84.0 cm (33.1 in.) high, incl. tail fin
Weight in air:	235 kg (517 lb)	145 kg (320 lb)
Weight in water:	88 kg (195 lb)	78 kg (172 lb)
Construction:	Fiberglass	Fiberglass shell with Delrin wing plate
Maximum tow cable length:	6000 m (19,680 ft) Contact Edgetech for cable type vs. length.	6000 m (19,680 ft) Contact Edgetech for cable type vs. length.
Depth rating:	300 m (984 ft)	2000 m (6560 ft)
Tow cable type:	Coaxial	
Maximum safe towing speed:	12 knots	
Operating temperature:	0–45°C (32–113°F)	
Heading accuracy:	<1.5° RMS	
Heading resolution:	0.1°	
Pitch and roll accuracy:	±0.4°	
Pitch and roll resolution:	0.1°	
Pitch and roll repeatability:	0.2°	
Optional sensor port:	RS-232	
Options:	Magnetometer Acoustic tracking system Pressure sensor Power loss pinger Responder	



512C Tow Vehicle



670D Tow Vehicle

SUB-BOTTOM SONAR

Frequency range:	0.5–12 kHz	2–16-kHz
Pulse bandwidth/pulse length:	0.5–8.0 kHz/5 ms 0.5–2.7 kHz/40 ms 0.5–6.0 kHz/20 ms 0.5–4.5 kHz/50 ms 0.5–6.0 kHz/9 ms 0.5–6.0 kHz/18 ms 0.5–7.2 kHz/30 ms 0.7–12.0 kHz/20 ms 2.0–12.0 kHz/20 ms	2–15 kHz/20 ms 2–12 kHz/20 ms 2–10 kHz/20 ms
Vertical resolution:^a	19 cm (1–5.0 kHz) 12 cm (1.5–7.5 kHz) 8 cm (2–12 kHz)	6 cm (2–15 kHz) 8 cm (2–12 kHz) 10 cm (2–10 kHz)
Penetration in coarse and calcareous sand:^b	30 m (typ)	6 m (typ)
Penetration in soft clay:^b	250 m	80 m
Beam width:^c	41°, 0.5–5 kHz 32°, 1–6 kHz 24°, 1.5–7.5 kHz 16°, 2–12 kHz	17°, 2–15 kHz 20°, 2–12 kHz 24°, 2–10 kHz
Optimum tow vehicle pitch/roll:	<16°, 0.5–5 kHz <13°, 1–6 kHz <10°, 2–8 kHz <8°, 2–10 kHz <7°, 2–12 kHz	<7°, 2–15 kHz <8°, 2–12 kHz <10°, 2–10 kHz
Optimum tow height:	3–5 m above sea floor	
Transmitters:	1	1
Receive arrays:	4	2