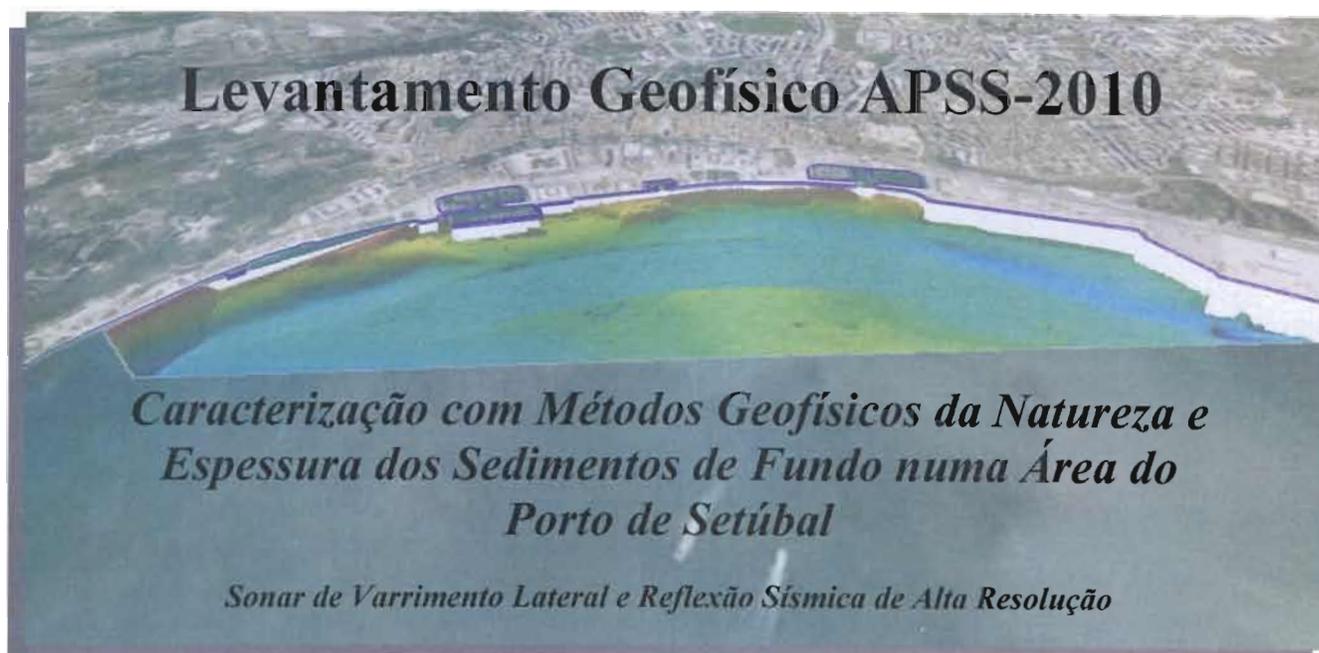


Relatório Técnico



Novembro 2010



Caracterização com Métodos Geofísicos da Natureza e Espessura dos Sedimentos de Fundo numa Área do Porto de Setúbal

Sonar de Varrimento Lateral e Sísmica de Alta Resolução

Equipa Científica:

Luís Menezes Pinheiro (Investigador Responsável. Aquisição, Processamento e Interpretação)

Leonardo Azevedo Pereira (Aquisição, Processamento e Interpretação sísmica)

Daniela Gonçalves (Aquisição, Processamento e Interpretação de sonar de varrimento lateral)

Tiago Ribeiro (Aquisição, Processamento e Interpretação sísmica)

Ricardo João (Processamento de sonar de varrimento lateral)

Francisco Curado Teixeira (Aquisição)

Colaboradores:

Henrique Duarte (Interpretação)

João Noiva (Interpretação)



Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha
CESAM e Dep. de Geociências, Universidade de Aveiro

Índice

Sumário Executivo	7
1. Introdução, Objectivos e Metodologia	9
2. Levantamento de Sonar de Varrimento Lateral e Caracterização dos Sedimentos de Fundo	14
2.2 Processamento dos Dados e Compilação do Mosaico de Sonar de Varrimento Lateral	15
2.3 Interpretação do Mosaico do Sonar de Varrimento Lateral	18
3. Levantamento de Perfis de Sísmica de Reflexão – <i>Chirp Sonar</i> – e espessura dos sedimentos de fundo	24
3.1 Equipamento Utilizado e Metodologia de Aquisição	24
3.2 Processamento dos Perfis de Reflexão Sísmica	26
3.3 Interpretação dos Perfis de Reflexão Sísmica e Estimativa da Espessura de Sedimentos	27
4. Conclusões	53
Agradecimentos	54
ANEXO I – Especificações Técnicas do Sistema Combinado de Sonar de Varrimento Lateral e <i>Chirp</i>	55
ANEXO II – Cartas à Escala 1:10 000	56
01 Posicionamento das Linhas de Sonar de Varrimento Lateral e de Reflexão Sísmica (Linhas L e SBO) adquiridas junto ao Terminal Multiusos do Porto de Setúbal	56
02 Mosaico de Sonar de Varrimento Lateral junto ao Terminal Multiusos do Porto de Setúbal	56
03 Mosaico de Sonar de Varrimento Lateral e Linhas de Sonar de Varrimento Lateral e Linhas de Reflexão Sísmica (Linhas L e SB)) adquiridas junto ao Terminal Multiusos do Porto de Setúbal	56
04 Mapa da Espessura de Sedimentos Superficiais (U1) estimada através da interpretação da Sísmica de Reflexão	56
ANEXO III – Perfis de Reflexão Sísmica à Escala Horizontal Aproximada de 1:5 000 ..	57



Índice de Figuras

Figura 1 – Área de estudo, com a identificação dos canais e das docas principais (Imagem <i>Google Earth</i> , georeferenciada em SIG (<i>ArcGIS</i>) e projectada no sistema <i>Hayford-Gauss, Datum 73</i>).	9
Figura 2 - Área de trabalho (delimitada pelos polígonos a vermelho) e batimetria na região envolvente. A batimetria apresentada foi compilada a partir dos levantamentos de 1994 (área mais vasta) e de Maio de 2010 (área dos canais de navegação), cedidos pela APSS. As curvas batimétricas (equidistância de 2m) correspondem ao levantamento de 1994 e permitem identificar as áreas dragadas entre então e o presente. As linhas a preto correspondem aos perfis ao longo dos quais foram efectuados os levantamentos geofísicos. Imagem projectada no sistema <i>Hayford-Gauss</i> (elipsóide internacional), <i>Datum 73</i> (ver também Desenho 1, do Anexo II). ..	10
Figura 3 – Embarcação Ecomar, da empresa “Lagoa do Ruivo Survey”.....	10
Figura 4 – Equipamento combinado de Sonar de Varrimento Lateral e Chirp Sonar, modelo <i>Edgetech 512i</i> , do Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha do CESAM e do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.	11
Figura 5 - Representação esquemática da geometria de aquisição dos dados geofísicos.	12
Figura 6 – Área de trabalho com a localização das linhas do levantamento de sonar de varrimento lateral (designadas como Linhas Principais – Linhas L; ao longo destas linhas foram igualmente adquiridos perfis de reflexão sísmica de alta resolução – ver Secção 3). O mosaico correspondente encontra-se representado na Figura 7. Imagem projectada no sistema <i>Hayford-Gauss</i> (elipsóide internacional), <i>Datum 73</i>	14
Figura 7 – Mosaico de sonar de varrimento lateral obtido para a área de estudo, no Porto de Setúbal (este mapa encontra-se às escalas 1:10000 nos Desenhos 2 e 3 do Anexo II, e à escala 1:5000, no Desenho 3A). Imagem projectada no sistema <i>Hayford-Gauss</i> (elipsóide internacional), <i>Datum 73</i>	17
Figura 8 – Mosaico de Sonar de Varrimento Lateral efectuado na área do Terminal Multiusos do Porto de Setúbal, projectado sobre a batimetria cedida pela APSS, usando o <i>software Fledermaus</i> . (a) Docas e Zona 1 do Terminal Multiusos; ambas com exagero vertical de 10x (b) Zona 2 do Terminal, com exagero vertical de 6x. ...	18
Figura 9 – Pormenor do mosaico de Sonar de Varrimento Lateral ao qual está sobreposto o mapa das isopacas da Unidade U-1A, onde se podem observar os locais onde parecem aflorar as unidades sismo-estratigráficas mais antigas. Polígono a vermelho: afloramento da Unidade U-2; polígono a verde: afloramento da Unidade U-1B; polígono a laranja: afloramento da Unidade U-4; polígono a rôxo: afloramento da Unidade 6. A área do prolongamento da Pedra Furada para o offshore está representado pelo polígono a preto.....	20
Figura 10 – Pormenor do mosaico de Sonar de Varrimento Lateral da zona SW da área de trabalho, onde parecem aflorar as sub-unidades mais profundas da Unidade U-2.	20
Figura 11 – Pormenor do mosaico de Sonar de Varrimento Lateral mostrando marcas de dragagens (setas a vermelho) efectuadas no canal de navegação. De notar que as marcas na parte Sul do canal de navegação, mais bem marcadas, correspondem às dragagens recentes (este ano).	21
Figura 12 – Pormenor do mosaico de Sonar de Varrimento Lateral mostrando marcas de dragagens (setas a vermelho) efectuadas no canal de navegação. De notar que as marcas na parte Sul do canal de navegação, mais bem marcadas, correspondem às	

dragagens recentes (este ano). Imagem projectada no sistema <i>Hayford-Gauss</i> (elipsóide internacional), <i>Datum 73</i>	21
Figura 13 – Pormenor do mosaico de Sonar de Varrimento Lateral mostrando marcas de dragagens efectuadas na parte Norte do canal de navegação. Imagem projectada no sistema <i>Hayford-Gauss</i> (elipsóide internacional), <i>Datum 73</i> . De notar a presença de uma pequena depressão junto à entrada da Doca e a alta reflectividade associada com a zona da Muralha.	22
Figura 14 – Pormenor do mosaico de Sonar de Varrimento Lateral mostrando marcas de dragagens efectuadas na parte Norte do canal de navegação. Imagem projectada no sistema <i>Hayford-Gauss</i> (elipsóide internacional), <i>Datum 73</i>	22
Figura 15 – Cartas Geológicas de Portugal à Escala 1:50000 da zona de trabalho (Folhas 38-B e 39-A), digitalizadas, georeferenciadas e projectadas no sistema <i>Hayford-Gauss</i> , <i>Datum 73</i> . O polígono a rosa corresponde à área de estudo.	23
Figura 16 – Localização dos perfis de reflexão sísmica (Linhas Principais – Linhas L e Linhas Completares – Linhas SBP). Imagem projectada no sistema <i>Hayford-Gauss</i> , <i>Datum 73</i>	25
Figura 17 – Posicionamento das linhas sísmicas, com os respectivos <i>shot points</i> (espaçados de 400 para as linhas mais pequenas e de 1000 para as linhas mais longas) sobre o mosaico de Sonar de Varrimento Lateral. Imagem projectada no sistema <i>Hayford-Gauss</i> , <i>Datum 73</i>	25
Figura 18 – Fluxograma de processamento dos perfis sísmicos usando o <i>software SPW</i>	26
Figura 19 – Linha sísmica L3 antes (a) e após (b) o processamento. A escala horizontal corresponde aos <i>shotpoints</i> e a escala vertical corresponde ao tempo de ida e volta (<i>two way time - TWT</i>) em segundos.	27
Figura 20 – Linha sísmica L1 interpretada.	36
Figura 21 – Linha sísmica L2 interpretada.	37
Figura 22 – Linha sísmica L3 interpretada.	37
Figura 23 – Linha sísmica L4 interpretada.	38
Figura 24 – Linha sísmica L5 interpretada.	38
Figura 25 – Linha sísmica L6 interpretada.	39
Figura 26 – Linha sísmica L7 interpretada.	39
Figura 27 – Linha sísmica L8 interpretada.	40
Figura 28 – Linha sísmica L10a interpretada.	41
Figura 29 – Linha sísmica L10b interpretada.	41
Figura 30 – Linha sísmica L11 interpretada.	42
Figura 31 – Linha sísmica L12 interpretada.	43
Figura 32 – Linhas Sísmicas SBP interpretadas: (a) SBP 1; (b) SBP 2; (c) SBP 3; SBP 4.	44
Figura 33 – Linhas Sísmicas SBP interpretadas: (a) SBP 5; (b) SBP 6; (c) SBP 7; SBP 8.	45
Figura 34 – Linhas Sísmicas SBP interpretadas: (a) SBP 9; (b) SBP 10; (c) SBP 11.	46
Figura 35 – Linhas Sísmicas SBP interpretadas: (a) SBP 12; (b) SBP 13.	47
Figura 36 – Linhas Sísmicas SBP interpretadas: (a) SBP 14; (b) SBP 15.	48
Figura 37 – Linhas Sísmicas SBP interpretadas: (a) SBP 16; (b) SBP 17.	49
Figura 38 – Linhas Sísmicas SBP interpretadas: (a) SBP 18; (b) SBP 19.	50
Figura 39 – Linhas Sísmicas SBP interpretadas: (a) SBP 20; (b) SBP 21.	51
Figura 40 – Linhas Sísmicas SBP interpretadas: (a) SBP 22; (b) SBP 23; (c) SBP 24.	52



Sumário Executivo

Este relatório apresenta os resultados de uma campanha geofísica efectuada no Porto de Setúbal, que envolveu a aquisição de imagens de sonar de varrimento lateral e de perfis sísmicos de alta resolução (Chirp Sonar). O objectivo principal desta campanha foi a caracterização, com métodos geofísicos, dos sedimentos de fundo e de sub-superfície, na zona do Canal Norte, aproximadamente entre a praia do Albarquel e a Zona 2 do Terminal Multiusos do Porto de Setúbal (APSS, S.A.). Foi adquirido um total de cerca de 42 km de perfis sísmicos, numa malha regular, e foi obtida uma cobertura total de sonar de varrimento lateral da área de estudo (cerca de 3 km²). A aquisição dos dados geofísicos foi realizada entre os dias 20 e 22 de Julho de 2010, utilizando um sistema combinado de Sonar de Varrimento Lateral e *Chirp Sonar - Edgetech SB-512i* da Universidade de Aveiro, a bordo da embarcação *Ecomar*, da empresa “Lagoa do Ruivo Survey”. Durante toda a campanha, o posicionamento dos dados geofísicos foi efectuada por GPS diferencial (DGPS). O levantamento de sonar de varrimento lateral foi efectuada em dupla frequência (100kHz e 400kHz), com um espaçamento entre linhas paralelas à linha de costa que variou entre 100 m (junto à zona 2 do Terminal Multiusos) e 150 m (na área das docas e zona 1 do Terminal Multiusos), o que proporcionou uma cobertura da área em estudo com uma sobreposição sempre superior a 50%. Os perfis de *Chirp Sonar* foram adquiridos no modo 0.5-7kHz, de forma a obter um bom compromisso entre uma elevada resolução e uma penetração adequada ao estudo da espessura dos sedimentos de fundo. Foram adquiridos perfis paralelos à linha de costa espaçados de 100 m junto à zona 2 do Terminal Multiusos e de 150 m na área das docas e zona 1 do Terminal Multiusos, cruzados por perfis transversais espaçados de 200 m.

Os resultados obtidos permitiram caracterizar a reflectividade (por retrodispersão) dos sedimentos de fundo e identificar as unidades sedimentares aflorantes e subjacentes, até uma profundidade de cerca de 20m abaixo do fundo. De uma forma geral, no mosaico de sonar de varrimento lateral, os sedimentos mais superficiais apresentam uma certa homogeneidade na maior parte da área de estudo, mas foram identificadas algumas áreas com sedimentos mais grosseiros e ondas de areia, assim como locais

onde unidades sedimentares mais profundas afloram, ou estão próximo da superfície. Foi igualmente possível identificar o provável prolongamento para o offshore da formação conhecida por “Pedra Furada”. Com estes dados foi possível cartografar a variabilidade lateral e em profundidade das várias unidades sedimentares presentes nesta área, em particular as mais superficiais, de maior interesse para as operações de dragagem. Com base nestes resultados pode otimizar-se uma campanha de sondagens para a calibração das várias unidades sísmicas. Uma vez seleccionadas as unidades mais importantes e determinada, com base nestes dados, a localização mais adequada para as sondar, será possível caracterizar as diferentes unidades geológicas na área de trabalho, o que permitirá planear e efectuar as operações de dragagem com maior segurança.

1. Introdução, Objectivos e Metodologia

A campanha de prospecção geofísica realizada consistiu num levantamento de sonar de varrimento lateral dupla-frequência e na aquisição de uma malha de perfis de reflexão sísmica de alta resolução, numa área do Canal Norte do Porto de Setúbal, que se estende desde aproximadamente o Forte de Albarquel, a Oeste, e a Zona 2 do Terminal Multiusos, a Este (Figura 1 e 2). O objectivo principal do trabalho foi caracterizar a natureza dos sedimentos de fundo e das unidades sedimentares subjacentes, e determinar as espessuras respectivas.



Figura 1 – Área de estudo, com a identificação dos canais e das docas principais (Imagem *Google Earth*, georeferenciada em SIG (*ArcGIS*) e projectada no sistema *Hayford-Gauss, Datum 73*).

A batimetria da área de estudo, interpolada a partir dos dados originais cedidos pela APSS, S.A., correspondentes aos levantamentos de 1994 (área mais vasta) e de 2010 (área do Canal Norte), está representada na Figura 2. As profundidades de água na área de trabalho variam entre cerca de 4 e 30 m. Nesta figura, estão sobrepostas à compilação batimétrica as curvas batimétricas correspondentes ao levantamento de 1994, o que permite identificar as alterações batimétricas nas áreas dragadas entre então e o presente. Apresentam-se igualmente nesta figura as linhas ao longo das quais foram efectuados os levantamentos geofísicos.

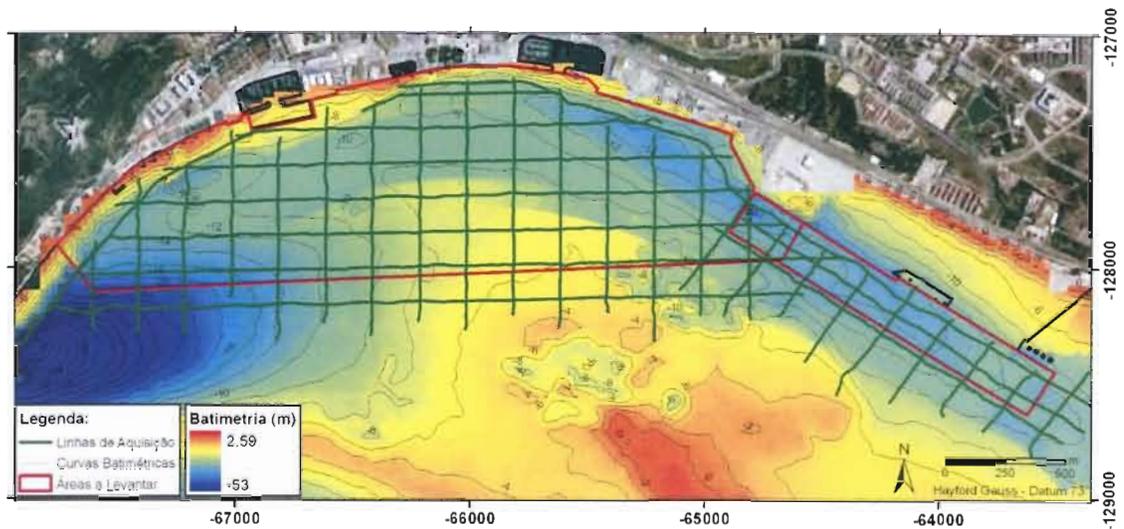


Figura 2 - Área de trabalho (delimitada pelos polígonos a vermelho) e batimetria na região envolvente. A batimetria apresentada foi compilada a partir dos levantamentos de 1994 (área mais vasta) e de Maio de 2010 (área dos canais de navegação), cedidos pela APSS. As curvas batimétricas (equidistância de 2m) correspondem ao levantamento de 1994 e permitem identificar as áreas dragadas entre então e o presente. As linhas a preto correspondem aos perfis ao longo dos quais foram efectuados os levantamentos geofísicos. Imagem projectada no sistema *Hayford-Gauss* (elipsóide internacional). *Datum 73* (ver também Desenho 1, do Anexo II).

Os levantamentos geofísicos foram efectuados a bordo da embarcação cabinada *Ecomar*, da empresa “Lagoa do Ruivo Survey” (Figura 3). Trata-se de uma embarcação em fibra de vidro, de pequeno calado e elevado poder de manobra, adequada a este tipo de trabalhos.



Figura 3 – Embarcação *Ecomar*, da empresa “Lagoa do Ruivo Survey”.

O equipamento utilizado nos levantamentos geofísicos foi um sistema combinado de sonar de varrimento lateral de dupla frequência (100kHz e 400kHz) e Chirp Sonar (0.5-12kHz), modelo *Edgetech 512i*, do Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha do Laboratório Associado CESAM e do Departamento de Geociências, da Universidade de Aveiro (Figura 4). As especificações técnicas deste equipamento podem ser consultadas no Anexo I.



Figura 4 – Equipamento combinado de Sonar de Varrimento Lateral e Chirp Sonar, modelo *Edgetech 512i*, do Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha do CESAM e do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.

O equipamento foi rebocado a estibordo da embarcação, imerso, a cerca de meio metro da superfície, suspenso por uma bóia (defensa), aproximadamente 12.4 metros à ré da embarcação (Figura 5). O posicionamento dos dados foi obtido com um GPS Diferencial *OmniSTAR*, modelo *8200HP System*, com correções em tempo real de precisão decimétrica, baseada no serviço HP+. Este equipamento permite uma precisão horizontal da ordem dos 10 cm e uma precisão vertical da ordem dos 15 cm, em modo estático. Em modo dinâmico, a precisão é submétrica, da ordem de apenas algumas dezenas de centímetros.

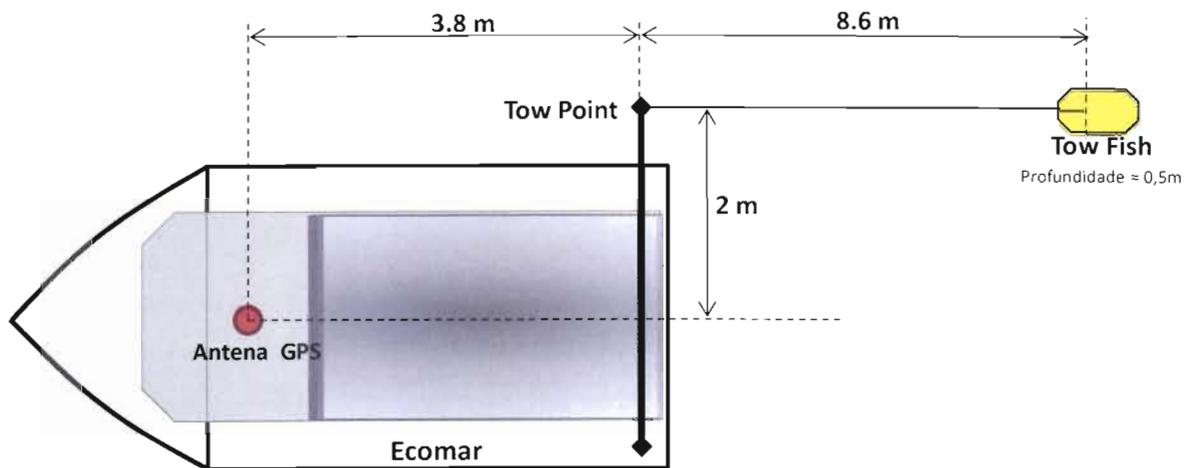


Figura 5 - Representação esquemática da geometria de aquisição dos dados geofísicos.

Os dados geofísicos foram gravados em formato digital proprietário da *Edgetech* (formatos “*JSF*” e “*XTF*”). As coordenadas espaciais adquiridas por DGPS foram gravadas nos ficheiros dos dados geofísicos com as seguintes mensagens NMEA de saída: GGA^1 , GLL^2 , VTG^3 e ZDA^4 .

O levantamento de sonar de varrimento lateral foi operado com um alcance lateral útil de 100m, tendo sido adoptado um espaçamento entre linhas que variou entre os 150 m junto às docas e à zona 1 do Terminal Multiusos e os 100 m na zona 2 do Terminal Multiusos. Foi assim possível obter uma cobertura da área de trabalho, com uma sobreposição da ordem dos 50 a 100%. No levantamento de reflexão sísmica de alta resolução, o Chirp Sonar foi operado na gama de frequências de 0.5-7 kHz, o que se representa um bom compromisso entre uma boa resolução nas camadas sedimentares e uma penetração de investigação adequada aos objectivos do trabalho. Para além das linhas adquiridas em simultâneo durante o levantamento de sonar de varrimento lateral (linhas paralelas à linha de costa com um espaçamento entre linhas de 100m junto às docas e à zona 1 do Terminal Multiusos e 150m na zona 1 do Terminal Multiusos), foram realizados perfis transversais espaçados entre si de 200m (ao longo destes perfis foram igualmente adquiridos levantamentos de sonar de varrimento lateral adicionais, que apenas foram processados para confirmar localmente as

¹ GPS Fix Data

² Position Data

³ Track Made Good e Ground Speed

⁴ Tempo e data



interpretações efectuadas). Foram ainda adquiridos perfis sísmicos E-W intermédios entre as linhas previstas no contrato, para uma melhor correlação lateral das unidades sedimentares. Apesar de essas linhas não serem objecto do presente estudo e a finalidade da sua aquisição ter sido apenas para ajudar na interpretação das linhas principais, todas elas foram processadas e foram incluídas, em formato digital standard SEG-Y, no DVD com os *Reflexão Sísmica de Alta Resolução*, anexo a este relatório.

Todos os dados geofísicos adquiridos foram georeferenciados, com base em posicionamento por GPS diferencial (DGPS), processados e introduzidos num Sistema de Informação Geográfica (*ArcGis*). Todos os dados georeferenciados e o projecto ArcGis correspondente estão incluídos no DVD – *Sonar de Varrimento Lateral*, que acompanha este relatório. O processamento dos dados sísmicos foi realizado utilizando o software SPW (Seismic Processing Workshop), da Parallel Geoscience Corp., e a interpretação sísmica foi realizada utilizando o software *Kingdom Suite* da *Seismic Micro-Technology*, Inc. O processamento dos dados de sonar de varrimento lateral foi efectuado utilizando os softwares *Sonarweb* (Chesapeake Technology), e *PRISM - Processing of Remotely-sensed Imagery for Seafloor Mapping* (gentilmente cedido para o efeito pelo Dr. Tim le Bas, do NOC, Inglaterra).

2. Levantamento de Sonar de Varrimento Lateral e Caracterização dos Sedimentos de Fundo

Os levantamentos de sonar de varrimento lateral na área de trabalho foram realizados entre os dias 20 e 22 de Julho de 2010, tendo sido adquiridos simultâneamente perfis de reflexão sísmica (Chirp Sonar). Os dados foram adquiridos em dupla frequência, 100kHz e 400kHz, tendo no entanto apenas sido utilizadas para a elaboração do mosaico final as imagens com frequência mais elevada (400 kHz), e portanto com mais elevada resolução espacial. A área total do levantamento com sonar de varrimento lateral é de cerca de 3,2 km². A Figura 6 mostra a localização das linhas de aquisição para este levantamento.

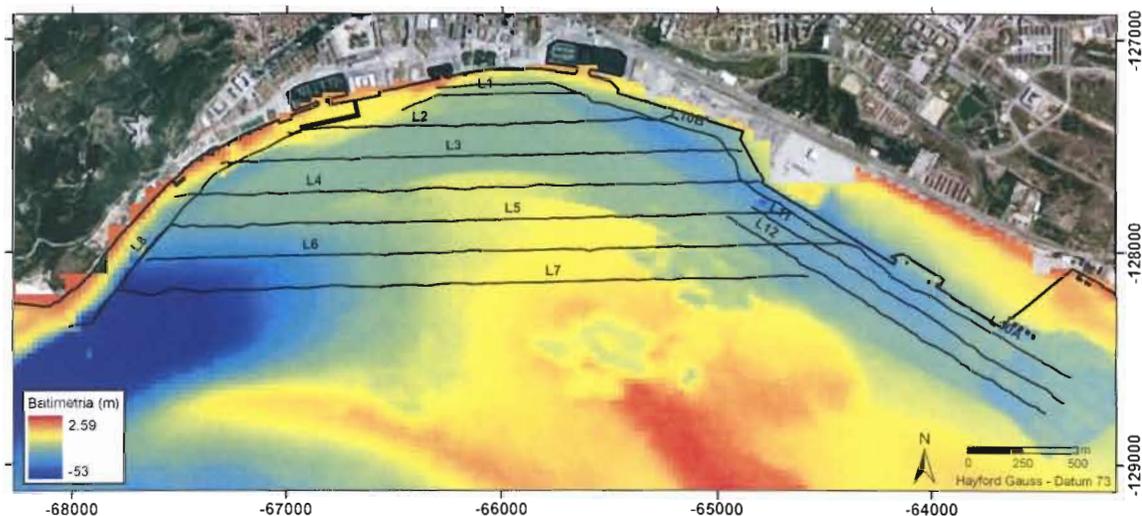


Figura 6 – Área de trabalho com a localização das linhas do levantamento de sonar de varrimento lateral (designadas como Linhas Principais – Linhas L; ao longo destas linhas foram igualmente adquiridos perfis de reflexão sísmica de alta resolução – ver Secção 3). O mosaico correspondente encontra-se representado na Figura 7. Imagem projectada no sistema *Hayford-Gauss* (elipsóide internacional), *Datum 73*.

O sonar de varrimento lateral foi operado com um alcance lateral do feixe sonar de 100m para cada lado, tendo sido adoptado um espaçamento entre linhas de cerca de 100-150m, tal como especificado na proposta. Desta forma foi possível obter uma cobertura com uma sobreposição entre os 50% e quase 100%, em toda a área de trabalho. Apenas na zona mais a Oeste da área de estudo, devido à presença de um

grande número de embarcações ancoradas, não foi possível adquirir dados geofísicos. Ao longo das linhas perpendiculares às linhas E-W, realizadas para aquisição de perfis de reflexão sísmica, foram também adquiridos dados de sonar de varrimento lateral. Estes perfis revelaram-se no entanto de grande utilidade na fase da interpretação dos dados de sonar de varrimento lateral, pois permitem cartografar melhor as ondas de areia cujas cristas têm uma direcção aproximada N-S.

2.2 Processamento dos Dados e Compilação do Mosaico de Sonar de Varrimento Lateral

O processamento dos dados de sonar de varrimento lateral e a criação do mosaico geo-referenciado correspondente (Figura 7 e Desenhos 2 e 3, do Anexo II) foram efectuados utilizando os programas *PRISM (Processing of Remotely-sensed Imagery for Seafloor Mapping)*, *SonarWeb* e *ArcGIS*. No processamento e posicionamento dos dados de sonar de varrimento lateral, assim como para o posicionamento dos perfis de reflexão sísmica, foram tidos em conta os valores de *layback* (8.6 m à ré) e do *Tow Point Offset* (2.0m a estibordo e 3.8m à ré; Figura 5), relativamente à posição da antena GPS (Figura 5).

O processamento dos dados de sonar de varrimento lateral consistiu nos seguintes passos principais:

- 1) Conversão dos ficheiros *.xtf* em ficheiros *.cdf* (*common data folder*);
- 2) Eliminação da faixa correspondente à coluna de água nas imagens de sonar de varrimento lateral, através da identificação da reflexão do fundo nos registos;
- 3) Criação dos ficheiros de navegação e correcção da navegação do *layback* do peixe (sua distância ao *tow point*);
- 4) Criação de mosaicos através da divisão da área de estudo em áreas mais pequenas (mapas), tendo em conta a largura de varrimento do equipamento e resolução pretendida;



5) Definição dos parâmetros de processamento dos dados a uma resolução inicial de 1m, posteriormente refinada para 10 cm. Estes incluíram a eliminação da camada de água e a correcção das distâncias oblíquas (*Slant Range*) e a correcção das amplitudes devido ao ângulo de incidência (obliquidade) do feixe (*Beam Angle Correction*).

6) Criação do mosaico final no *ArcGIS* (Figura 7).

A gama de cores utilizada na representação dos dados de sonar de varrimento lateral varia entre o preto, para representar zonas de sombra e de muito baixa reflectividade (retrodispersão), até ao branco para as zonas de alta reflectividade. O mosaico final resultante da selecção das linhas com melhor qualidade, foi geo-referenciado a partir dos dados de posicionamento adquiridos com DGPS, devidamente corrigidos.

O mosaico final foi integrado com os dados de batimetria cedidos pela APSS de forma a poder efectuar-se a sua visualização a 3 dimensões (Figura 8). Esta integração de dados é fundamental, pois permite resolver algumas ambiguidades na interpretação, nomeadamente determinar se diferenças de reflectividade por retrodispersão (*backscatter*) correspondem a efeitos do relevo de fundo ou a tipos de sedimentos distintos. Esta integração foi efectuada utilizando o *software* de visualização gráfica 3D *Fledermaus*.

Para uma observação mais detalhada do mosaico podem ser consultados os Desenhos 2 e 3 à 1:10000, e o Desenho 3A, à escala 1:5000, no Anexo II. Para visualização da projecção do mosaico sobre a batimetria, em 3D, pode ser utilizada a cobertura exportada em formato *scene*. Esta pode ser visualizada com o *software* de domínio público *Iview4D*, ambos incluídos no DVD – *Sonar de Varrimento Lateral*, que acompanha este relatório.

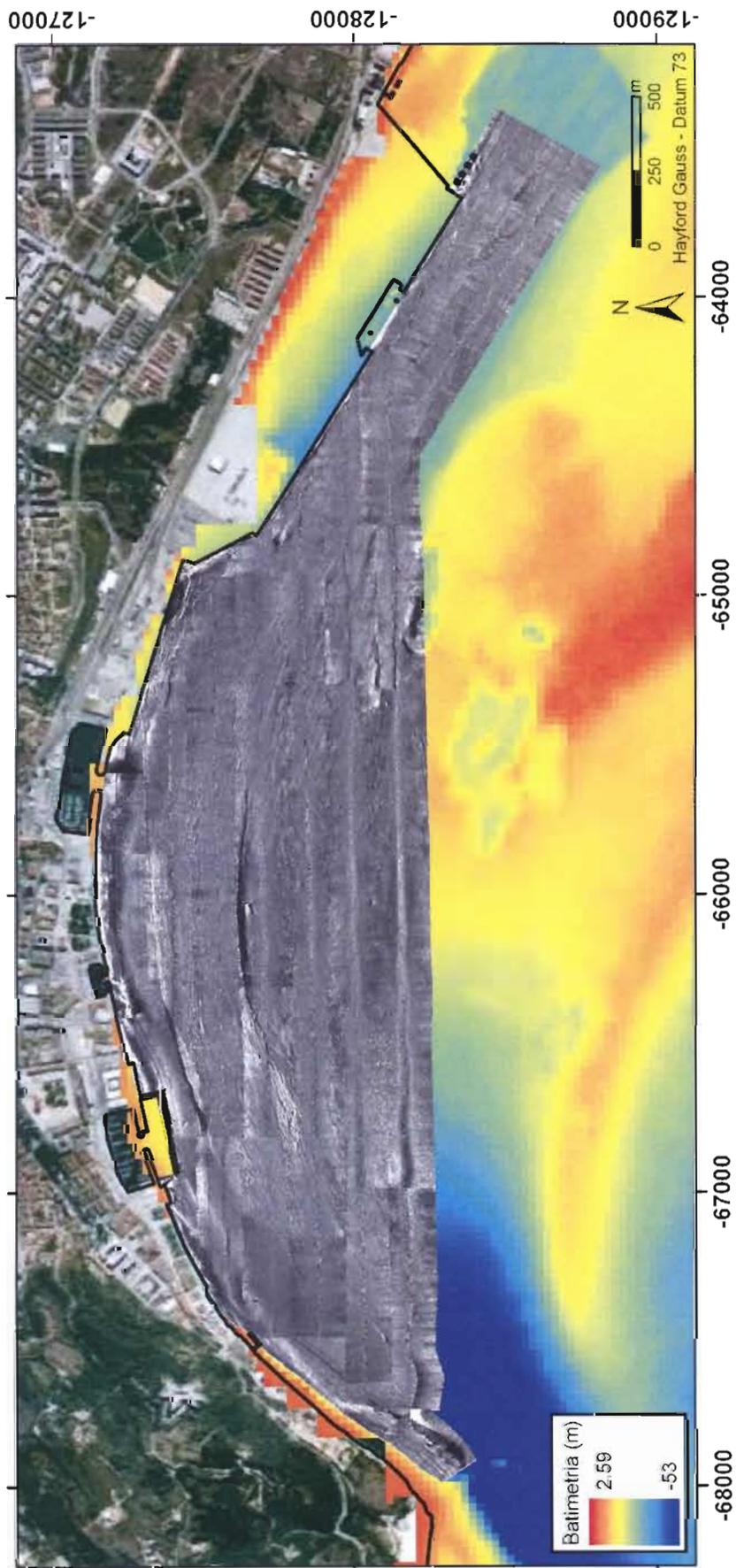
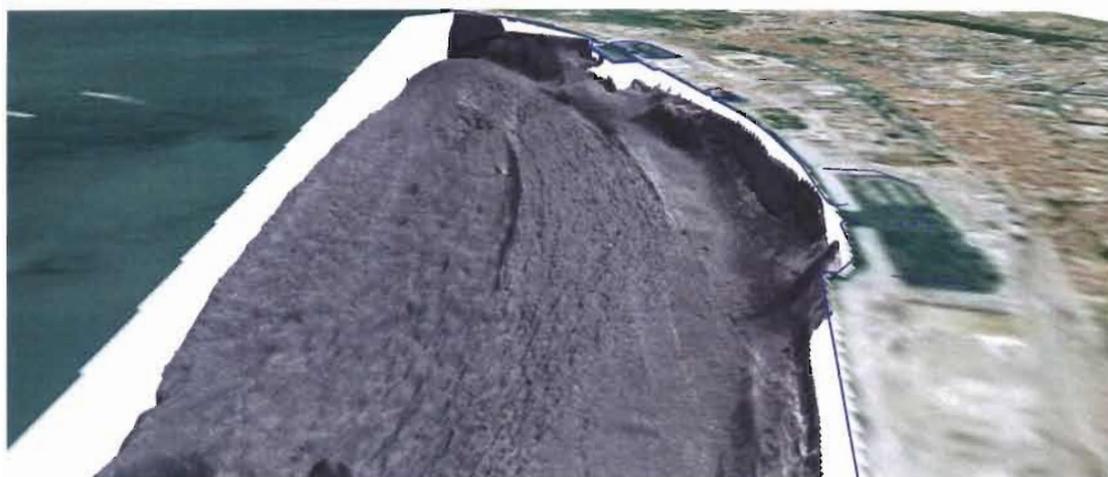


Figura 7 – Mosaico de sonar de varrimento lateral obtido para a área de estudo, no Porto de Setúbal (este mapa encontra-se às escalas 1:10000 nos Desenhos 2 e 3 do Anexo II, e à escala 1:5000, no Desenho 3A). Imagem projectada no sistema *Hayford-Gauss* (elipsóide internacional), *Datum* 73.

2.3 Interpretação do Mosaico do Sonar de Varrimento Lateral

No mosaico de sonar de varrimento lateral, apesar de no geral existir alguma homogeneidade da reflectividade (*backscatter*) na área de trabalho, é possível distinguir áreas com reflectividades e carácter distintos (ver Figura 7 e Desenhos 2 e 3). Estas correspondem a diferentes tipos de sedimentos superficiais, o que é confirmado conjugando o mosaico de sonar de varrimento lateral com os resultados da interpretação dos perfis de reflexão sísmica (Secção 3) e com a batimetria de alta resolução. As sondagens e análises granulométricas anteriores às últimas operações de dragagem, disponibilizadas pela APSS, mostram que grande parte da área de trabalho é constituída por areias, que podem ser mais lodosas, ou cascalhentas.



(a)



(b)

Figura 8 – Mosaico de Sonar de Varrimento Lateral efectuado na área do Terminal Multiusos do Porto de Setúbal, projectado sobre a batimetria cedida pela APSS, usando o *software Fledermaus*. (a) Docas e Zona 1 do Terminal Multiusos; ambas com exagero vertical de 10x (b) Zona 2 do Terminal, com exagero vertical de 6x.



Na maior parte da área de trabalho os sedimentos aflorantes parecem corresponder à Unidade U-1, que consiste de 2 Sub-Unidades U-1A e U-1B (ver Secção 3), e que muito provavelmente é constituída por areias e aluviões do Holocénico (Figura 9 e Desenho 5, Apêndice II). Tal como se discute na Secção 3, há uma possibilidade de a Unidade U1-A poder corresponder a um artefacto da reflexão sísmica na zona mais superficial; no entanto esta hipótese parece não ser muito provável pois esta unidade desaparece em várias das linhas sísmicas, o que não aconteceria se se tratasse de um verdadeiro artefacto. De qualquer forma a sua interpretação deve ser analisada com algum cuidado, tendo em atenção aquela possibilidade. O mapa da espessura da Unidade U-1A, efectuado a partir da interpretação das linhas sísmicas (Secção 3), e representado na Figura 9, permite-nos observar claramente onde afloram as várias outras Unidades sísmo-estratigráficas mais antigas descritas na Secção 3 e assim efectuar a sua correlação com o mosaico de Sonar de Varrimento Lateral. Esta informação é muito importante para a planificação das dragagens a efectuar.

Na Figura 9, identificaram-se as áreas onde parecem aflorar unidades mais antigas, de acordo com a interpretação dos perfis de reflexão sísmica de alta resolução. A correlação entre os afloramentos das distintas unidades e o carácter da reflectividade dos sedimentos de fundo é muito razoável. Como se pode confirmar pelos perfis sísmicos (ver Secção 3), existem várias áreas da zona de trabalho nas quais parecem aflorar as Unidades U-1B, U-2, U-4 e U-6 (ver discussão sobre a idade e natureza das várias Unidades, na Secção 3).

Na Figura 9 os polígonos a vermelho representam o afloramento da Unidade U-2, os polígonos a verde, o afloramento da Unidade U-1B; os polígonos a laranja, o afloramento da Unidade U-4, e o polígono a rôxo, o afloramento da Unidade 6. A área do prolongamento da Pedra Furada para o offshore está representado pelo polígono a preto.

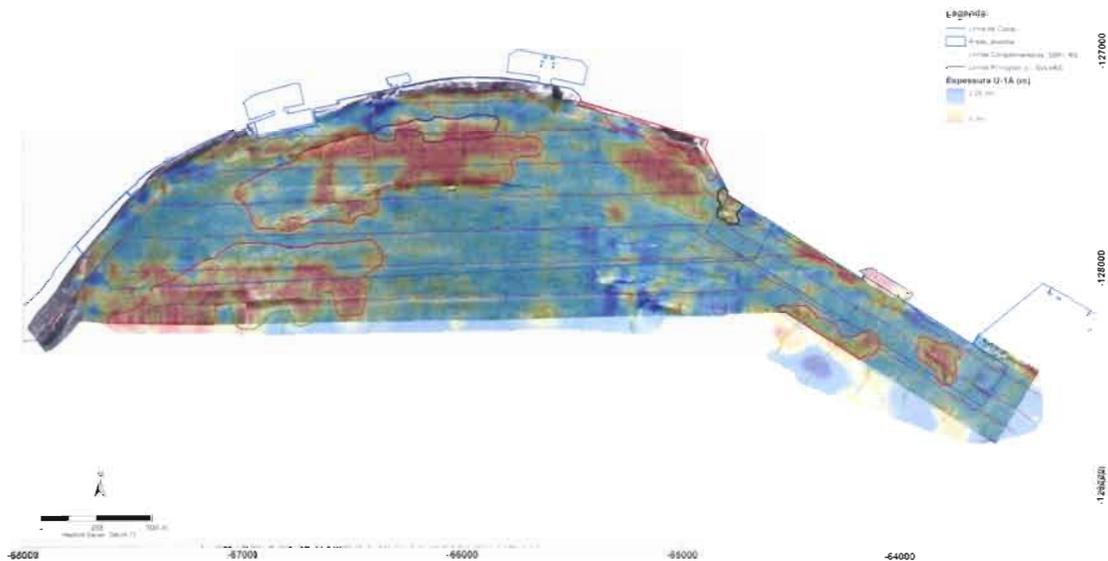


Figura 9 – Pormenor do mosaico de Sonar de Varrimento Lateral ao qual está sobreposto o mapa das isopacas da Unidade U-1A, onde se podem observar os locais onde parecem aflorar as unidades sismo-estratigráficas mais antigas. Polígono a vermelho: afloramento da Unidade U-2; polígono a verde: afloramento da Unidade U-1B; polígono a laranja: afloramento da Unidade U-4; polígono a rôxo: afloramento da Unidade 6. A área do prolongamento da Pedra Furada para o offshore está representado pelo polígono a preto.

A Figura 10 mostra uma área do sonar de varrimento lateral onde parecem aflorar as sub-unidades mais profundas da Unidade U-2. Esta Unidade aparece com um aspecto claramente distinto nesta zona, como pode ser observado nos perfis sísmicos correspondentes (Ver secção 3 e, por exemplo, a Figura 26).

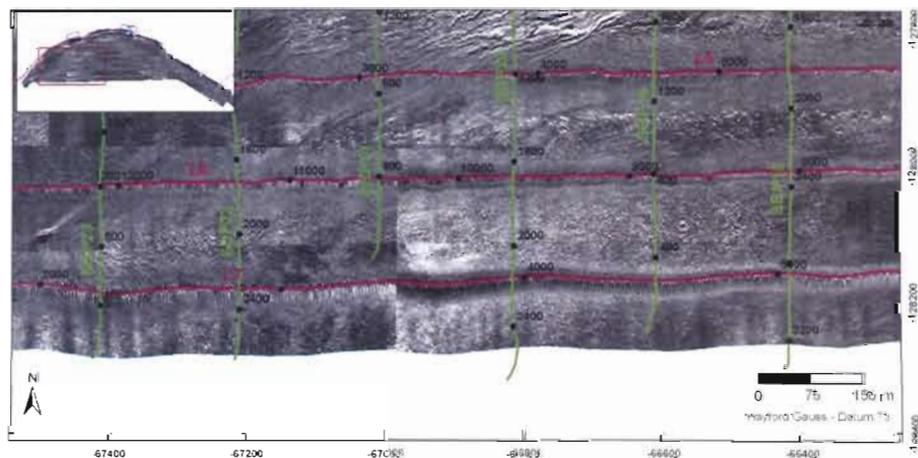


Figura 10 – Pormenor do mosaico de Sonar de Varrimento Lateral da zona SW da área de trabalho, onde parecem aflorar as sub-unidades mais profundas da Unidade U-2.

Uma outra área com um carácter de reflectividade de fundo distinto é a área representada na Figura 11, a Oeste da área dragada. Nos perfis sísmicos nesta zona, não é contudo possível distinguir nenhum aspecto particular nas unidades mais superficiais (ver por exemplo discussão sobre as linhas L-6 e L-7, na Secção 3).

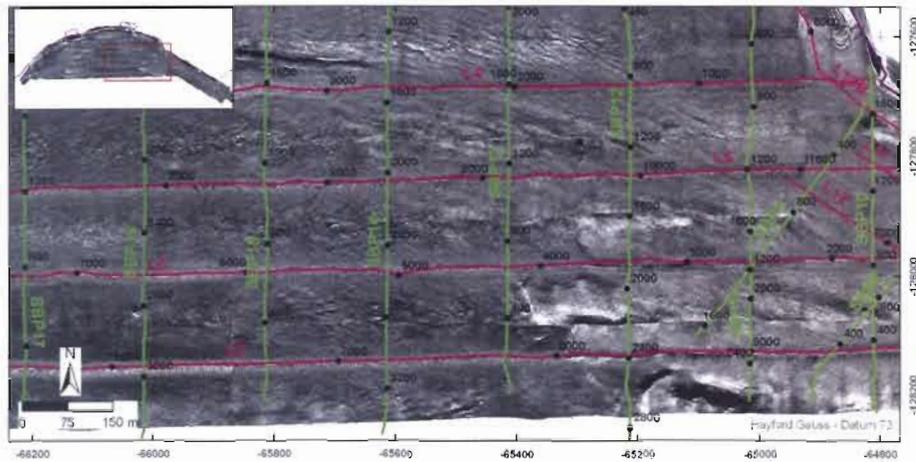


Figura 11 – Pormenor do mosaico de Sonar de Varrimento Lateral mostrando marcas de dragagens (setas a vermelho) efectuadas no canal de navegação. De notar que as marcas na parte Sul do canal de navegação, mais bem marcadas, correspondem às dragagens recentes (este ano).

É também possível distinguir no mosaico zonas de mais alta reflectividade nos extremos do canal de navegação, que parecem corresponder a marcas das dragagens mais recentes (Figura 12).



Figura 12 – Pormenor do mosaico de Sonar de Varrimento Lateral mostrando marcas de dragagens (setas a vermelho) efectuadas no canal de navegação. De notar que as marcas na parte Sul do canal de navegação, mais bem marcadas, correspondem às dragagens recentes (este ano). Imagem projectada no sistema *Hayford-Gauss* (elipsóide internacional), *Datum 73*.

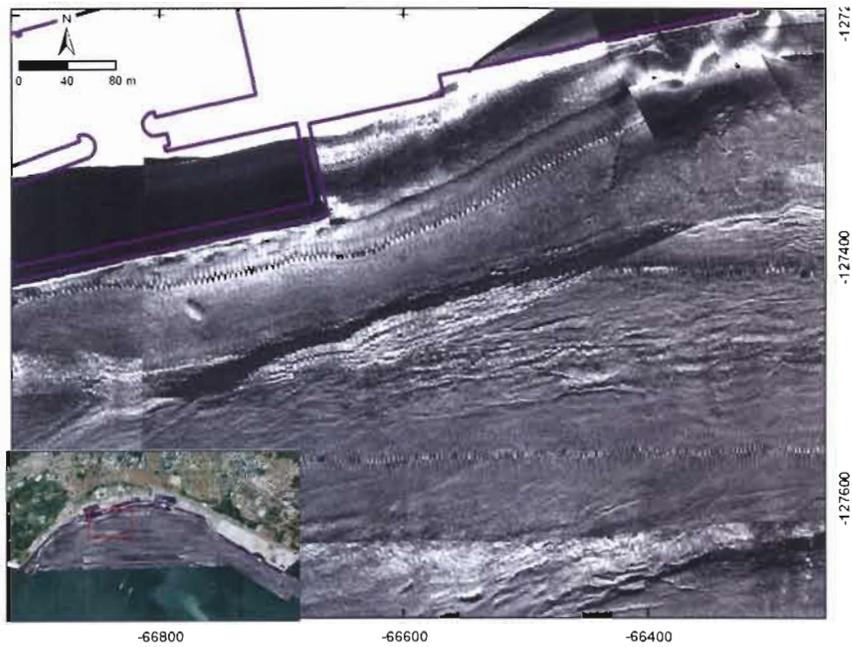


Figura 13 – Pormenor do mosaico de Sonar de Varrimento Lateral mostrando marcas de dragagens efectuadas na parte Norte do canal de navegação. Imagem projectada no sistema *Hayford-Gauss* (elipsóide internacional), *Datum 73*. De notar a presença de uma pequena depressão junto à entrada da Doca e a alta reflectividade associada com a zona da Muralha.

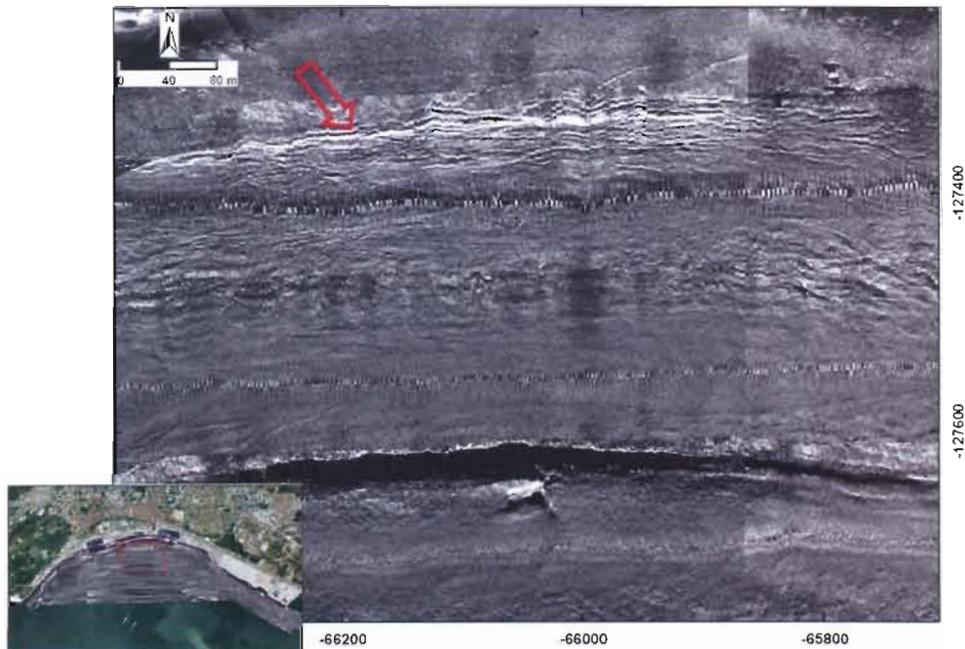


Figura 14 – Pormenor do mosaico de Sonar de Varrimento Lateral mostrando marcas de dragagens efectuadas na parte Norte do canal de navegação. Imagem projectada no sistema *Hayford-Gauss* (elipsóide internacional), *Datum 73*.

De acordo com a carta geológica de Portugal 38-B (1:50000), a Norte de grande parte da zona das docas (*onshore*) afloram aluviões do Holocénico (Figura 15). Estes depósitos sedimentares são formados por materiais geralmente grosseiros, mal rolados e mais ou menos soltos, podendo ter blocos na sua constituição (>64mm - <256mm). Seria de esperar que estes aluviões também fossem encontrados aflorando na maior parte da área de estudo. Alguns destes poderão ter sido transportados para esta área pela zona da Ribeira do Livramento. Estes sedimentos mais grosseiros podem estar na origem de certos problemas descritos pela empresa de dragagem, que alegavam a existência de “pedra” com dimensões superiores a 10 cm como o principal impedimento da execução da dragagem por sucção.

De facto, várias são as zonas em que se conseguem distinguir blocos com alguma dimensão no mosaico de sonar de varrimento lateral e que poderão representar um impedimento na dragagem por sucção.

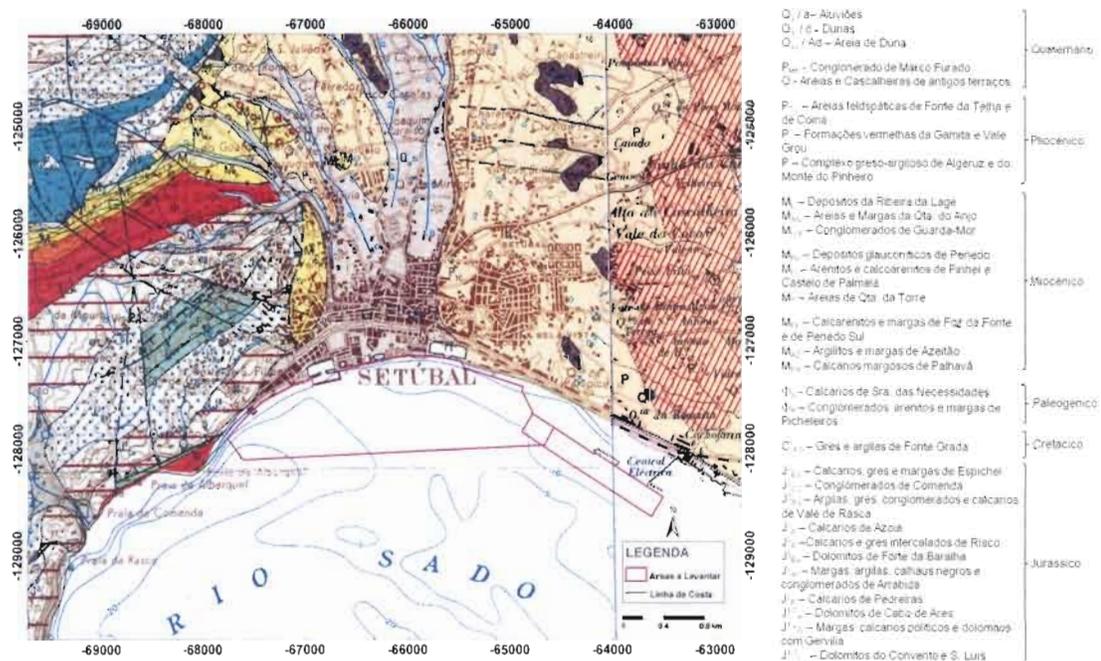


Figura 15 –Cartas Geológicas de Portugal à Escala 1:50000 da zona de trabalho (Folhas 38-B e 39-A), digitalizadas, georeferenciadas e projectadas no sistema *Hayford-Gauss, Datum 73*. O polígono a rosa corresponde à área de estudo.

3. Levantamento de Perfis de Sísmica de Reflexão – *Chirp Sonar* – e espessura dos sedimentos de fundo

3.1 Equipamento Utilizado e Metodologia de Aquisição

O levantamento de perfis de reflexão sísmica foi realizado usando o mesmo sistema usado na aquisição dos dados de sonar de varrimento lateral, *Edgetech* SB-512i (Figura 4), dado que este modelo combina o sistema de sonar de varrimento lateral com um *chirp sonar* (ver especificações técnicas do equipamento no Anexo I). A geometria de aquisição foi descrita na secção 2.1 deste relatório e encontra-se esquematizada na Figura 5.

Tendo em conta que se pretende estimar a espessura dos sedimentos de fundo, o *chirp sonar* foi usado no modo 0.5-7 kHz, o que representa um bom compromisso entre uma boa resolução das primeiras camadas e uma penetração adequada. A frequência do disparo foi de 8 Hz, ou seja, 8 ciclos/s e o comprimento do pulso foi 20 ms.

Foram adquiridos perfis sísmicos paralelos entre si, espaçados 150 m e com direcção E-O junto às docas e à zona 1 do Terminal Multiusos e perfis NW-SE espaçados 100m junto à zona 2 do Terminal Multiusos. Todos estes perfis foram intersectados por perfis transversais que distam entre si 200 m (Figura 16).

Durante todo o levantamento as condições de aquisição foram boas, com mar relativamente calmo o que se traduziu numa excelente qualidade dos perfis obtidos. A velocidade da embarcação não excedeu os 5 nós, de forma a garantir uma boa amostragem da área do levantamento.

Todos os dados foram adquiridos com posicionamento por GPS diferencial (DGPS) com correcções de precisão decimétrica em tempo real. Foi corrigido o efeito do *layback* (8.6m à ré) e do *Tow Point Offset* (2.0m a estibordo e 3.8m à ré; Figura 5), relativamente à posição da antena GPS (Figura 5)

A Figura 17 mostra os *shot points* de cada perfil sísmico (espaçados de 400 ou 1000, consoante se trate de uma linha, respectivamente, mais curta ou mais longa) de forma a

facilitar a correspondência entre os perfis sísmicos e o mosaico (ver também a carta 1:10000 no desenho 03 do Anexo II).

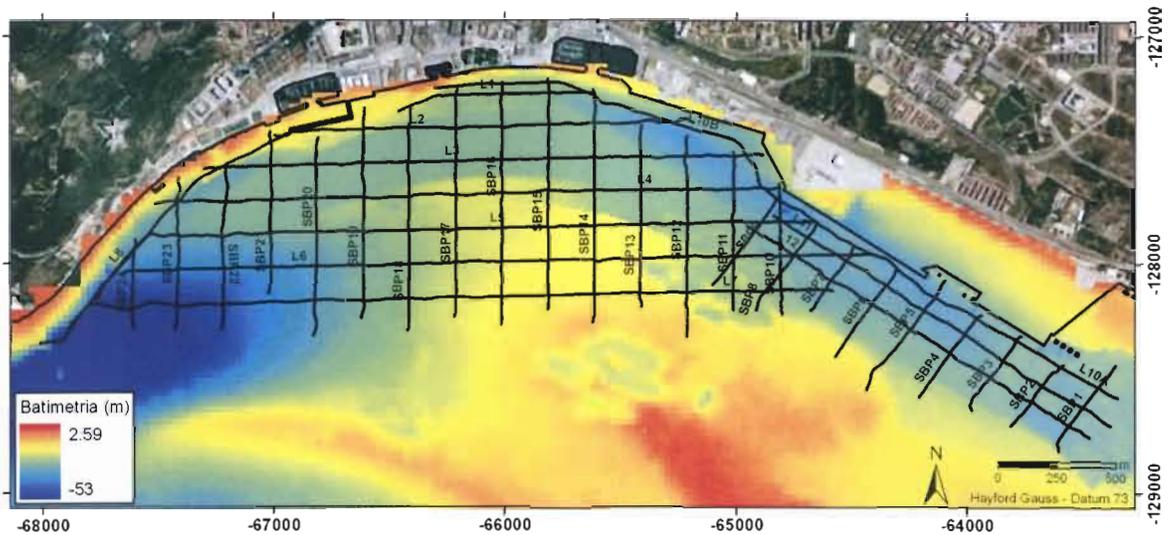


Figura 16 – Localização dos perfis de reflexão sísmica (Linhas Principais – Linhas L e Linhas Completaras – Linhas SBP). Imagem projectada no sistema *Hayford-Gauss, Datum 73*.

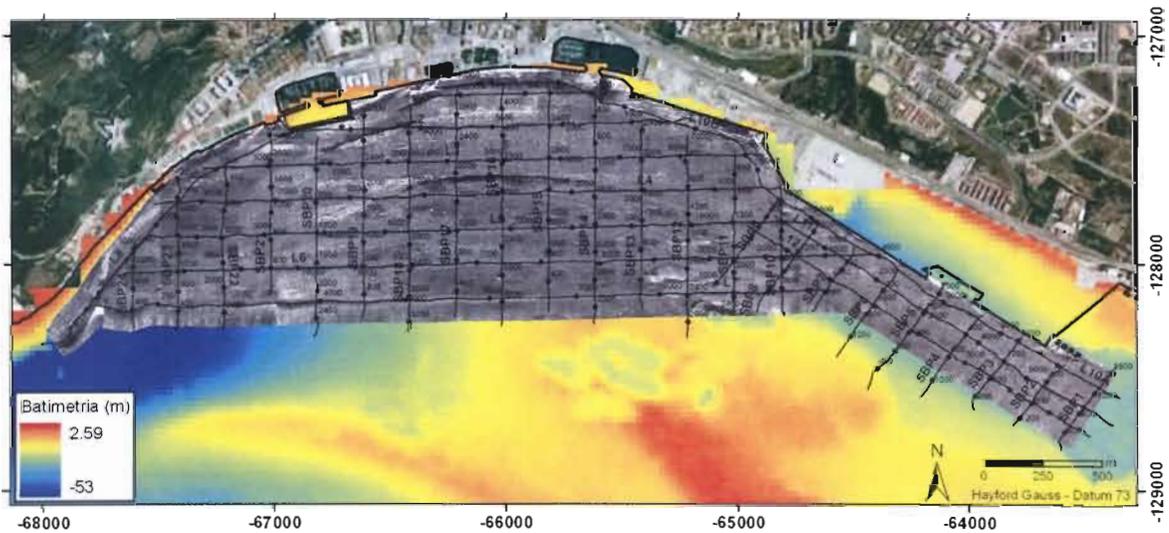


Figura 17 – Posicionamento das linhas sísmicas, com os respectivos *shot points* (espaçados de 400 para as linhas mais pequenas e de 1000 para as linhas mais longas) sobre o mosaico de Sonar de Varrimento Lateral. Imagem projectada no sistema *Hayford-Gauss, Datum 73*.

3.2 Processamento dos Perfis de Reflexão Sísmica

Após conversão do formato *SEG-Y* para o formato interno do *software* de processamento (*SPW*), as linhas sísmicas foram processadas com o programa *Seismic Processing Workshop - SPW* de acordo com o *workflow* ilustrado na Figura 18.



Figura 18 – Fluxograma de processamento dos perfis sísmicos usando o *software SPW*.

Para cada perfil sísmico, os *headers* foram editados, foi aplicada a correção da divergência esférica e foi corrigido o efeito de maré e a ondulação. Foi ainda aplicada uma desconvolução predictiva e um filtro de frequências passa-banda (entre 650 e os 6500 Hz). Após aplicar uma migração em tempo com velocidade constante, foi removido o sinal na coluna de água usando o comando *early mute*.

A Figura 19 mostra uma linha sísmica sem qualquer tipo de processamento (*raw*) e após o processamento anteriormente descrito, onde se pode ver a melhoria clara obtida na qualidade do sinal. A migração permite ainda corrigir a posição e inclinação dos reflectores mais inclinados.

Os perfis de reflexão sísmica processados e impressos à escala horizontal aproximada de 1:5000 encontram-se no Anexo III deste relatório.

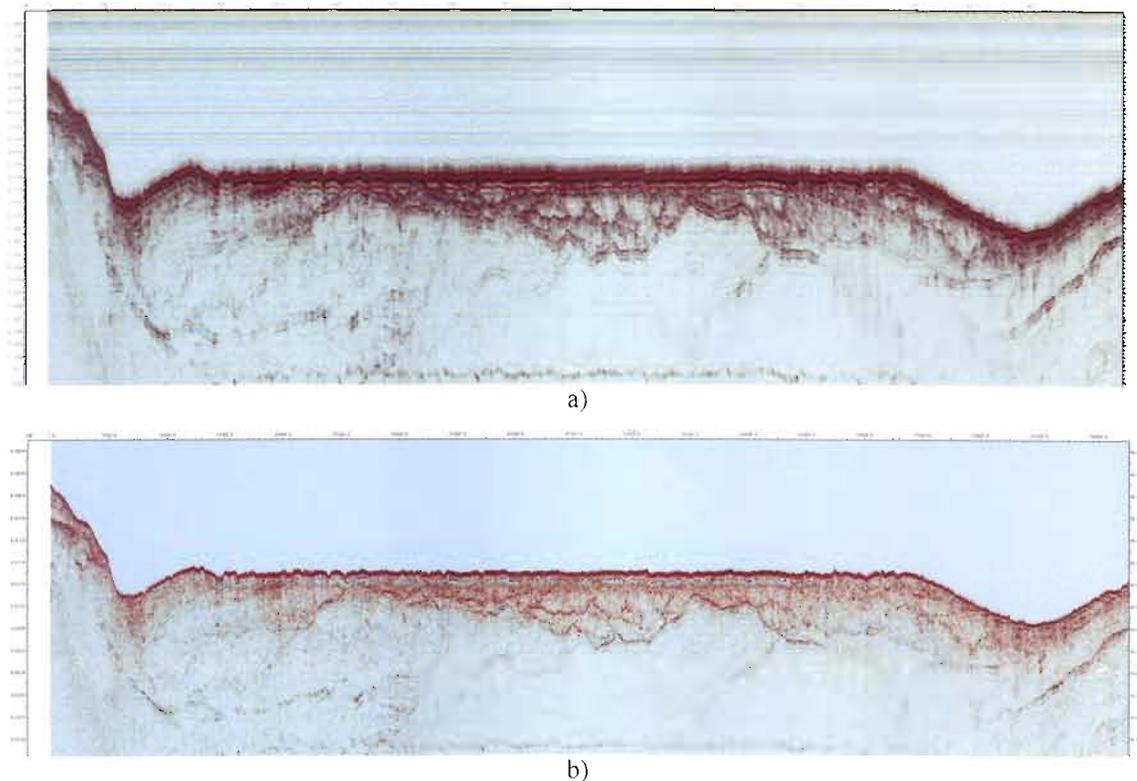


Figura 19 – Linha sísmica L3 antes (a) e após (b) o processamento. A escala horizontal corresponde aos *shotpoints* e a escala vertical corresponde ao tempo de ida e volta (*two way time - TWT*) em segundos.

3.3 Interpretação dos Perfis de Reflexão Sísmica e Estimativa da Espessura de Sedimentos

Os perfis sísmicos processados foram interpretados tendo em conta o principal objectivo deste trabalho. Assim, foram identificadas e cartografadas apenas as camadas superficiais de sedimentos na área de trabalho e foi elaborada uma carta de espessura dos sedimentos mais superficiais, de forma a se poderem identificar potenciais problemas nas áreas a dragar.

A interpretação foi efectuada sobre perfis impressos e utilizando o *software Kingdom Suite*. Todos os perfis estão representados em tempo duplo (ida e volta; TWT – *Two Way Time*) e não em profundidade, que é sempre o método mais rigoroso. A conversão em profundidade exige saber a velocidade de propagação das Ondas-P nas várias camadas, o que não é possível com dados monocanal. No entanto, é relativamente fácil atribuir uma velocidade a cada uma das camadas mais superficiais, que poderá posteriormente ser

melhorada, com base em dados de sondagens. Assim, para uma conversão expedita de tempo duplo (TWT) em profundidade das camadas mais superficiais, velocidades entre os 1650 e cerca de 2000m/s, poderão ser utilizadas numa primeira aproximação. Assumindo uma reflexão vertical, que é o caso, e para uma velocidade de 2000m/s, num segundo, as ondas viajarão uma distância de 2000m; como a reflexão corresponde a um trajecto de ida e volta, se a reflexão demorou 1s a ser registada, significa que a espessura real da camada é de 1000m.

Aquando da descrição das várias unidades sísmicas indica-se o que se pensa ser uma velocidade de propagação das onda-P adequada, o que permite efectuar a sua conversão rápida em profundidade. Para obter a espessura real em metros de uma camada, basta multiplicar a sua “espessura” em TWT (tempo de ida e volta), em segundos, por 825, no primeiro caso, e por 1000, no segundo. Assim, por exemplo, uma unidade mais superficial com uma “espessura” em tempo de 0.0008s, corresponderá a uma espessura real de 66cm, assumindo uma velocidade das Ondas-P nessa camada de 1650m/s. Caso a velocidade fôsse um pouco superior, por exemplo 1800m/s, o que já seria alto para a camada U-1A, a espessura seria nesse caso 72cm. Vemos assim que para camadas superficiais, o erro que se poderá cometer será de cerca de 5-6%.

Foram identificadas 6 Unidades sísmo-estratigráficas principais (U-1 a U-6; ver Figura 20 – **Linha sísmica LI interpretada**. Figura 40 – Linhas Sísmicas SBP interpretadas: (a) SBP 22; (b) SBP 23; (c) SBP 24., que se distinguem pelo carácter das suas reflexões internas e que se encontram separadas por discordâncias erosivas. Dado o âmbito e objectivos deste trabalho, foi dada especial atenção para este Relatório apenas às unidades mais superficiais ou aquelas que afloram na área de trabalho. Só após a execução de uma campanha de sondagens devidamente posicionadas em face destes dados sísmicos será possível calibrar as unidades sísmo-estratigráficas e definir inequivocamente a sua natureza e composição litológica. Na ausência deste elemento, pode-se no entanto especular sobre a sua possível natureza, com base na Carta Geológica 1:50000 para esta região.

UNIDADE 1 (U-1): Sedimentos recentes do Quaternário. Provavelmente é constituída por aluviões e areias do Holocénico, provenientes da Ribeira do Livramento e do transporte fluvial ao longo do canal norte do Rio Sado.



TOPO – Fundo do mar

BASE – Reflector Verde

Nos perfis sísmicos, aparece como constituída por 2 sub-unidades, 1A (a amarelo nas linhas sísmicas interpretadas; ver Figura 20 – **Linha sísmica L1 interpretada**. Figura 40 – Linhas Sísmicas SBP interpretadas: (a) SBP 22; (b) SBP 23; (c) SBP 24. e 1B (a verde nas linhas sísmicas interpretadas), com carácter sísmico algo distinto. A Sub-Unidade U-1A, mais superficial, com cerca de 60 cm de espessura (cerca de 0.008ms TWT) e cuja base é quase sempre paralela ao fundo, é constituída por reflectores mais ou menos difusos com um comprimento de onda maior que as outras unidades sísmicas identificadas. Pode tratar-se apenas de um artefacto de aquisição que a desconvolução não conseguiu resolver completamente, dado o seu carácter e o facto de ter uma espessura razoavelmente constante; nesse caso, as unidades que afloram nessa zona são as imediatamente inferiores, e deve por isso ser interpretada com algum cuidado. No entanto, existem numerosos indícios nos vários perfis sísmicos que apontam para se tratar de uma unidade real, pois em vários locais ela está interrompida e a sua espessura varia lateralmente. Assim, poderão tratar-se dos sedimentos mais recentes e mais consolidados depositados nesta região. A Sub-Unidade U-1B, subjacente, é constituída por reflectores razoavelmente paralelos, contínuos e tem uma espessura mais variável, podendo atingir valores de alguns metros, em particular na região mais a leste da área de trabalho. Esta unidade mais superficial preenche uma superfície ravinada que corresponde ao topo da Unidade 2 (reflector H13). Para a conversão em profundidade destas camadas, sugerem-se valores de 1650m/s para 1 Camada U-1A e de 1750m/s para a camada U-1B).

UNIDADE 2 (U-2): Sedimentos do Pliocénico (?). Poderá ser o equivalente das areias feldespáticas da Fonte da Telha e de Coina.

TOPO – Reflector Verde

BASE – Reflector Rosa

Nos perfis sísmicos esta unidade é caracterizada por uma série de reflectores muito bem definidos, ondulados, muito variáveis lateralmente embora com alguma coerência lateral local, que parecem corresponder a canais de pequenas dimensões com migrações laterais. Em várias zonas esta unidade parece aflorar no fundo do mar (ver por exemplo nas linhas L-7 e L-6, essencialmente a Oeste, entre os SP-5200 e o SP-6000 na Linha L-4, na zona central da Linha L-3, e apenas localmente na Linha L2; ver Figuras Figura 25 – **Linha**

sísmica L6 interpretada. Figura 26 – Linha sísmica L7 interpretada.). O seu topo está ravinado. Para a conversão em profundidade desta camada, sugere-se um valor de 1850m/s.

UNIDADE 3 (U-3): Poderão ser sedimentos do Pliocénico Inferior.

TOPO – Reflector Rosa

BASE – Reflector Azul

Nos perfis sísmicos esta unidade é geralmente transparente. Para a conversão em profundidade desta camada, sugere-se um valor de 2000m/s.

UNIDADE 4 (U-4): Poderão ser depósitos do Miocénico Superior, ou do Pliocénico.

TOPO – Reflector Azul

BASE – Reflector Laranja

Nos perfis sísmicos esta unidade é que aparece apenas no preenchimento do canal fóssil importante observado na área Oeste da zona de trabalho. Tem um carácter relativamente transparente, mas com alguns reflectores lateralmente coerentes. Para a conversão em profundidade desta camada, sugere-se um valor de 2300m/s.

UNIDADE 5 (U-5): Poderão ser depósitos do Miocénico Superior, ou do Pliocénico.

TOPO – Reflector Laranja e Reflector Azul

BASE – Reflector Rôxo

Nos perfis sísmicos esta unidade é que aparece na base do canal fóssil importante, observado na área Oeste da zona de trabalho. Tem um carácter relativamente transparente e é delimitada superiormente por um reflector muito bem marcado (reflector laranja e reflector azul). Para a conversão em profundidade desta camada, sugere-se um valor de 2500m/s.

UNIDADE 6 (U-6): Formações do Miocénico. Poderão tratar-se de arenitos, margas e calco-arenitos no Miocénico Superior.

TOPO – Reflector Azul

Nos perfis sísmicos esta unidade aparece como uma unidade bastante transparente, na qual se observam evidências de vários reflectores importantes inclinados para Oeste, que poderão corresponder a margens de canais de grandes dimensões. Para a conversão em profundidade desta camada, sugere-se um valor de 3000m/s.

INTERPRETAÇÃO DAS LINHAS SÍSMICAS

No âmbito deste relatório, descrevem-se em detalhe apenas as linhas longas E-W e WNW-ESSE (Linhas L-1 a L-12; Figura 20 a Figura 31), que são as linhas principais deste trabalho. A interpretação destas linhas foi efectuada tendo em conta todas as linhas N-S e NE-SW que as cruzam (Linhas SBP-1 a SBP-24), cuja interpretação dos vários horizontes está apresentada da Figura 32 à Figura 40.

LINHA 1:

Nesta linha sísmica (Figura 20) aflora essencialmente a Unidade U-1A, com uma espessura razoavelmente constante, da ordem dos 80cm. A Unidade U-1B é igualmente pouco espessa, não excedendo geralmente 1.6m. A Unidade U-2 parece existir apenas na parte Oeste, onde atinge espessuras da ordem dos 2.5m. A Unidade U-3 apresenta uma espessura que pode atingir os 10m e nesta linha parece assentar directamente sobre a Unidade U-6 na zona do canal fóssil Mais importante, que se observa na parte Oeste desta linha (ver também a interpretação das outras linhas E-W). Na zona Este desta linha, a Unidade U-1B parece estar depositada directamente sobre a Unidade U-6.

LINHA 2:

Esta linha sísmica (Figura 21) inclui uma parte da zona do canal de navegação que tem sido dragado. Aparentemente, a Unidade U-1A só não aflora na maior parte da zona central, onde parece aflorar fundamentalmente a Unidade mais antiga U-6. Entre o Sp-3600 e o SP-4500 aflora fundamentalmente a Unidade U-2, com um afloramento pontual da U-1A. Nos 2 extremos da linha onde parece aflorar a Unidade U-1B a Este, e a Unidade U-2 a Oeste. A Unidade U-1A tem quase sempre uma espessura da ordem dos 80cm. A Unidade U-1B é igualmente pouco espessa, com espessuras da ordem de 1 a 1.5m, mas poderá ser mais espessa no extremo Este da linha. A Unidade U-2 é nesta linha muito menos espessa que na maior parte das outras linhas E-W, atingindo no máximo cerca de 2m. A Unidade U-3 observa-se apenas localmente, com espessuras que não



excedem 1.5m (Figura 21). Na zona mais a Oeste desta linha observa-se o canal fóssil principal, no qual as Unidades U-4 e U-5 apresentam uma espessura considerável.

LINHA 3:

Esta linha situa-se ao longo do canal de navegação que tem sido dragado. Aparentemente, a Unidade U-1A aflora ao longo da maior parte desta linha, com excepção das zonas entre os SP-4000 e SP-5000, onde aflora a Unidade U-2, e das zonas a Este do SP-7700 e de uma pequena zona próxima do SP-500. É possível que em toda a zona central aflore a Unidade U-2 e que nos bordos aflore a Unidade U-1B, em vez da Unidade U-1A, no caso da Unidade U-1A interpretada corresponder a um potencial artefacto. A Unidade U-1B parece existir apenas nos 2 extremos da linha, com uma espessura entre 1.75 e 3.5m (2-4ms TWT). A Unidade U-2 é razoavelmente espessa na zona central da linha, podendo atingir cerca de 4.5m de espessura. A Unidade U-3 ocupa o preenchimento de alguns canais localizados, principalmente na parte Este da linha, onde pode atingir localmente os 4m ou mesmo 6m de espessura. Na zona Oeste observa-se um importante canal fóssil delimitado por um aparente contacto de falha a Oeste, no contacto com as formações mais antigas. Neste canal, a Unidade mais antiga é a Unidade U-5. Observando a Carta Geológica 1:50000, interpreta-se que a unidade que aflora no extremo Oeste desta linha e que delimita o canal fóssil a Oeste, poderá corresponder aos Conglomerados e as Margas de Picheleiros.

LINHA 4:

Ao longo desta linha (Figura 23), aflora praticamente sempre a Unidade U-1A e possivelmente localmente, na zona Este da linha, a Unidade U-1B. A espessura da Unidade U-1A é mais ou menos constante ao longo da linha, variando entre cerca de 0.7m e 1m (0.8-1.2ms TWT). Entre o SP-5200 e o SP-6000, parece aflorar a unidade U-2. A Unidade U-2, ao longo desta linha, tem uma espessura da ordem dos 3 a 5m (espessura máxima em TWT de 0.006s), que diminui significativamente para Este do SP-2500. A Unidade U-3 tem igualmente uma espessura variável, atingindo um máximo de cerca de 7m (7ms TWT) na zona Oeste onde se observa um importante canal fóssil delimitado por um aparente contacto de falha a Oeste, no contacto com as formações mais antigas. Neste canal, a Unidade mais antiga é a Unidade U-5. Observando a Carta Geológica 1:50000,



não é possível ter a certeza qual a unidade que aflora no extremo Oeste desta linha e que delimita o canal fóssil a Oeste; no entanto, poderá corresponder aos Conglomerados e às Margas de Picheleiros, do Paleogénico, ou então, mais provavelmente, aos calcários e margas do Cretácico, ou mesmo do Jurássico.

LINHA 5:

Ao longo desta linha (Figura 24), aflora sempre a Unidade U-1A, com uma espessura mais ou menos constante da ordem dos 50-70cm. A Unidade U-1B é muito pouco espessa na zona central e aumenta de espessura para ambos os lados. Para Oeste, atinge uma espessura de cerca de 1.8m entre, aproximadamente, o SP-2000 e o SP-4000. Para Este aumenta muito significativamente de espessura podendo atingir cerca de 5m (0.006s TWT). A Unidade U-2, ao longo desta linha tem uma espessura bastante variável, não excedendo os 2-3m na zona Este e podendo atingir os 6.5m (0.007s TWT). A Unidade U-3 tem uma espessura variável lateralmente, geralmente da ordem de 1 a 2.5m, podendo ser um pouco superior em 2 pequenos canais localizados, nos extremos Este e Oeste da linha, onde pode atingir os 5-6m. Tal como na Linha 4, observa-se o canal fóssil bem desenvolvido a Oeste. As Unidades mais antigas que o preenchem parecem corresponder à Unidade U-5. Observando a Carta Geológica 1:50000, parece que a Unidade que aflora neste extremo Oeste da linha e que delimita o canal fóssil a Oeste nesta zona, poderá corresponder aos Conglomerados e as Margas de Picheleiros.

LINHA 6:

Nesta linha (Figura 25), a Oeste, não se chega ao contacto com as margas e conglomerados de Picheleiros (Paleogénico). Para Este do SP-9000 aflora essencialmente a Unidade U-1A, com excepção do extremo Este e eventualmente num canal próximo do SP-3200, onde poderá a aflorar a Unidade U-1B, e de 2 afloramentos muito localizados do que parece ser a Unidade U-2, cerca da SP-8000. Para Oeste do SP-9000, contudo, aflora frequentemente a Unidade U-2, se bem que erodida localmente por pequenos canais onde aflora a Unidade U-1 (geralmente a U-1A, mas localmente a U-1B). A espessura total da Unidade U-1, no extremo Este da linha pode atingir os 2.5m, mas no resto da linha não ultrapassa os 2m e geralmente é inferior a 1m. A Unidade U-2, ao longo da linha tem uma espessura relativamente constante, da ordem dos 3.5 a 5.5m (4 a 6ms TWT), entre o extremo Oeste e aproximadamente o SP-3500. A Este do SP-3500 diminui significativamente (Figura 25). Tal como na Linha L-5, a Unidade U-3 tem uma espessura



variável lateralmente, geralmente da ordem de 1 a 3m. No extremo Oeste desta linha o importante canal fóssil, preenchido pelas Unidades U-4 e U-5 que foi identificado na maior parte das outras linhas sísmicas.

LINHA 7:

Nesta linha (Figura 25), a Oeste, observa-se novamente o contacto com o que muito provavelmente são as Margas e Conglomerados de Picheleiros (Paleogénico), que delimitam a Oeste um importante canal fóssil (ver também a descrição das outras linhas sísmicas E-W). Entre o SP-1200 e o SP-2000 e para Este do SP-5700 aflora essencialmente a Unidade U-1A, se bem que para Este do SP-8000 possam aflorar localmente unidades mais profundas, que podem ter sido expostas devido à realização de dragagens nesta zona. Entre o SP-2000 e o SP-3400 parece aflorar a Unidade U-2. Entre o SP-3400 e o SP-4300 aflora essencialmente a Unidade U-1B, com afloramentos pontuais da Unidade U-1A. Na vizinhança do SP-4700 aflora de novo localmente a Unidade U-2. A espessura da Unidade U-2 é da ordem dos 2-3.5m, apresentando espessuras um pouco superiores entre o SP-4500 e o SP-6500, onde pode atingir cerca de 5.5m. Nesta linha, a Unidade U-3 não parece existir na zona central, aproximadamente entre o SP-5500 e o SP-7700; localmente, em zonas de preenchimentos de canais localizados, pode atingir os 4m de espessura. A Unidade U-6, na zona central da linha estará a profundidades da ordem dos 5m.

LINHA 8:

Esta linha (Figura 27) situa-se na parte mais a Oeste da zona de trabalho. Na zona mais a sul, aflora o soco acústico que corresponde muito provavelmente às Margas e Conglomerados de Picheleiros (Paleogénico). Em quase toda esta linha aflora a Unidade U-1A, com uma espessura um pouco variável mas da ordem dos 80cm, com a excepção da zona próxima do SP-250, onde parece aflorar a Unidade U-1B. A Unidade U-2, ao longo desta linha tem uma espessura variável, que não excede os 2m, exceptuando na área onde parece aflorar, próximo do início da linha. A Unidade U-2 é relativamente pouco espessa junto ao início da linha, mas atinge os 5m. A Unidade U-3 apenas parece existir na zona mais a sul, junto ao afloramento do soco acústico. Na zona mais a norte, é possível que o soco acústico corresponda aos calcários, grés e margas do Espichel, de idade Jurássica.



LINHAS 10A e 10B:

Estas 2 linhas ligam-se uma à outra, estando a linha (Figura 28/Figura 29) situam-se na parte mais a Norte da zona de trabalho. A linha L10-A situa-se já na área do Terminal Multiusos. A Unidade U-1A aflora na maior parte desta linha, com excepção de 4 pequenas zonas: uma zona a Oeste e outra entre o SP-6000 e o SP-7000, ambas na Linha L10-B, onde parece aflorar a Unidade U-2, e duas outras zonas entre o SP-3300 e o SP-4300 e entre o SP-9300 e o SP-10000 (Figura 28/Figura 29) onde parece aflorar a Unidade U-1B. Com excepção da área entre os SP-3300 e SP-4300 onde parece ser mais espessa, a espessura da Unidade U-1B varia ao longo da linha sísmica entre 1 e 2m. A Unidade U-3 parece aflorar apenas no extremo Oeste desta linha.

LINHAS 11 e 12:

Estas 2 linhas sísmicas (Figuras Figura 30 e Figura 31) situam-se na zona do Terminal Multiusos e são paralelas à Linha L10A. Dada a sua semelhança, a sua descrição será efectuada em conjunto. Em ambas estas linhas, a Unidade U-1A aflora na maior parte da sua extensão, com excepção de 2 pequenas zonas onde aflora a Unidade U-2: uma zona entre os SP-4500 e SP-5000, na Linha L-11, e outra zona na Linha L12, na vizinhança do SP-3700. A Unidade U-1B tem uma espessura mais ou menos constante nesta zona da ordem dos 1.8 a 2.5m. A Unidade U-2 é mais espessa nestas 2 linhas que na Linha L10A, podendo atingir cerca de 4-5m. Ao contrário da Linha L10A, a Unidade U-3 é visível tanto na parte Oeste como na parte Este da linha, com espessuras relativamente modestas, da ordem de 1-2m.

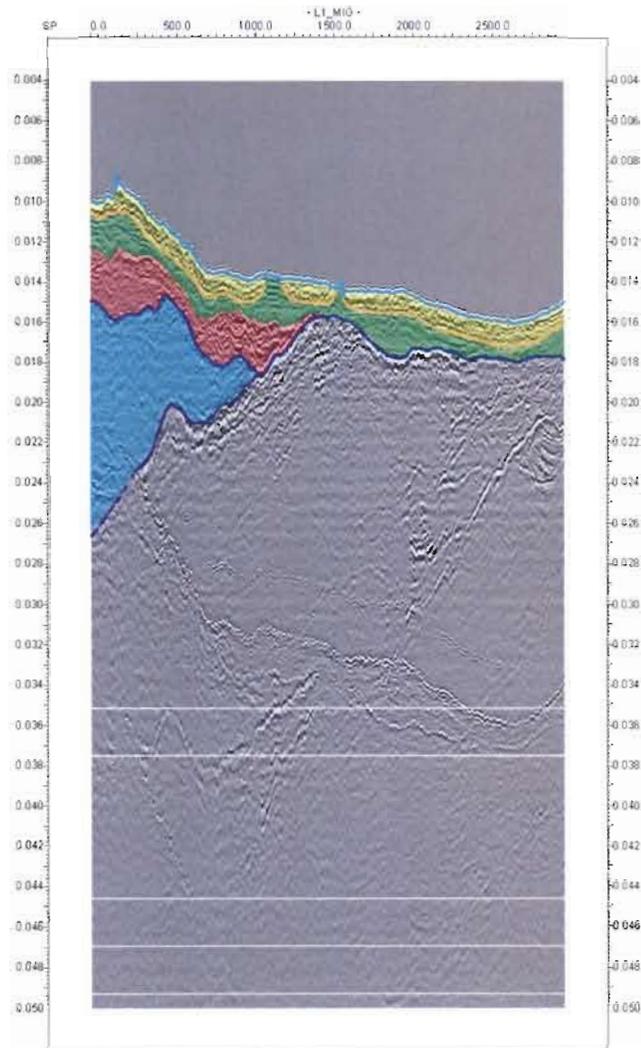


Figura 20 – Linha sísmica L1 interpretada.

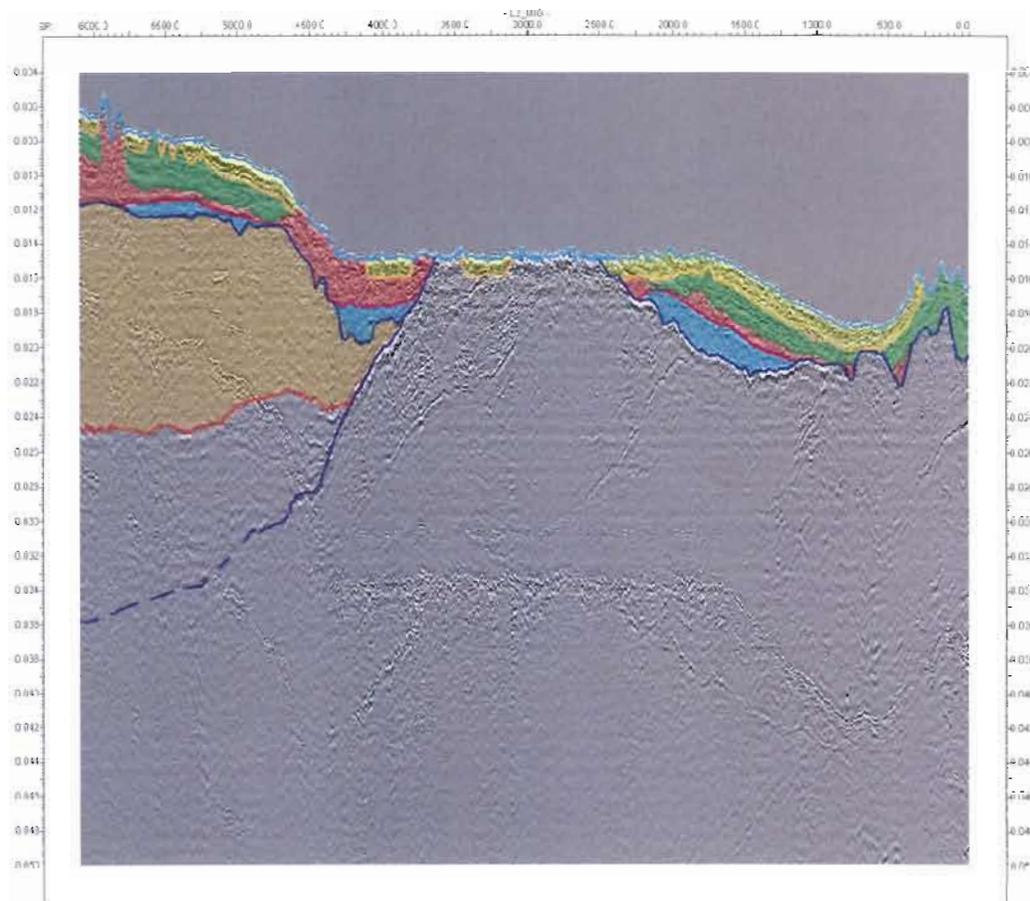


Figura 21 – Linha sísmica L2 interpretada.

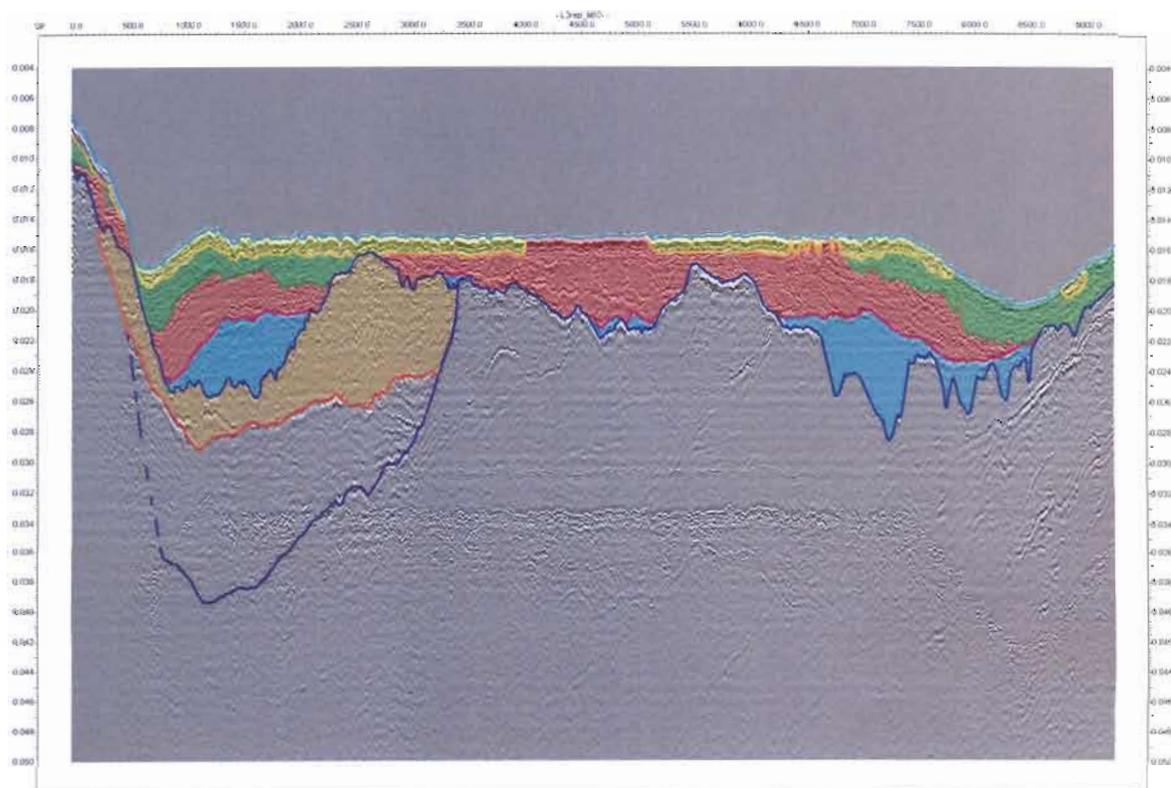


Figura 22 – Linha sísmica L3 interpretada.

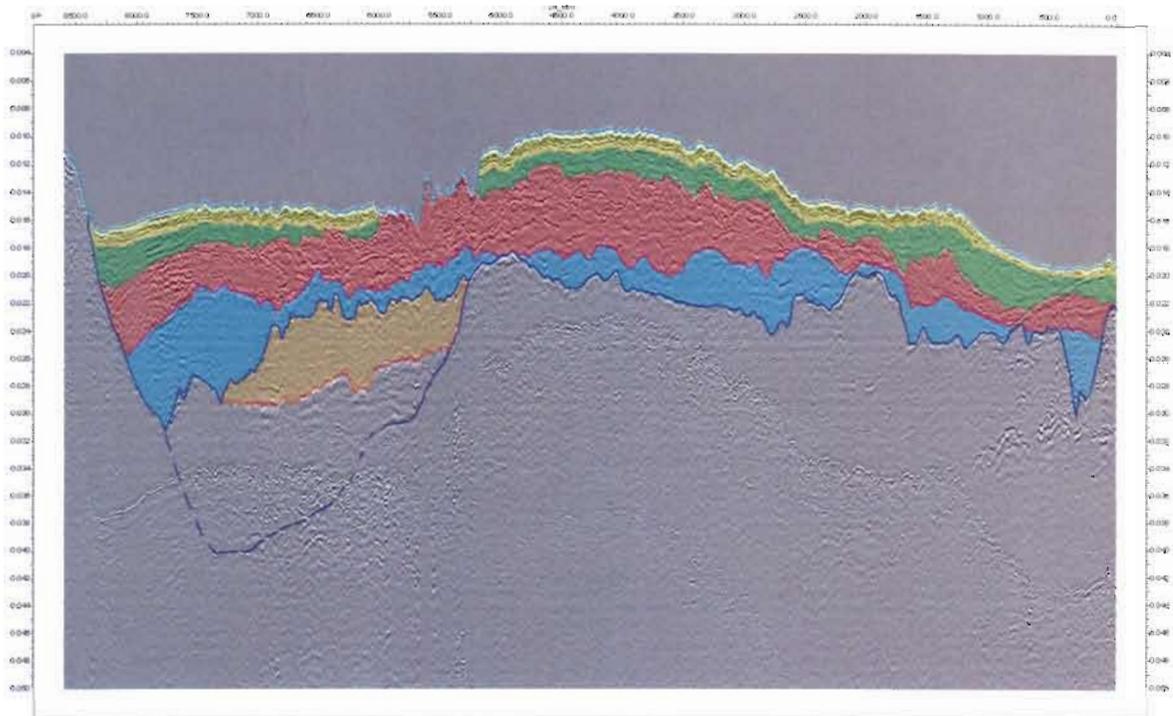


Figura 23 – Linha sísmica L4 interpretada.

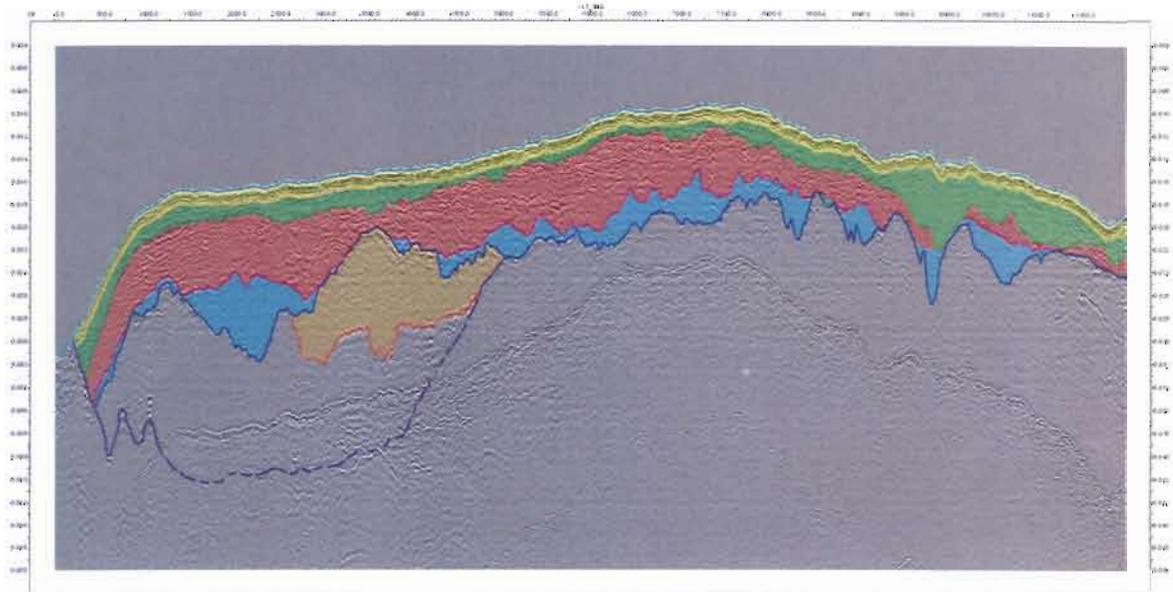


Figura 24 – Linha sísmica L5 interpretada.

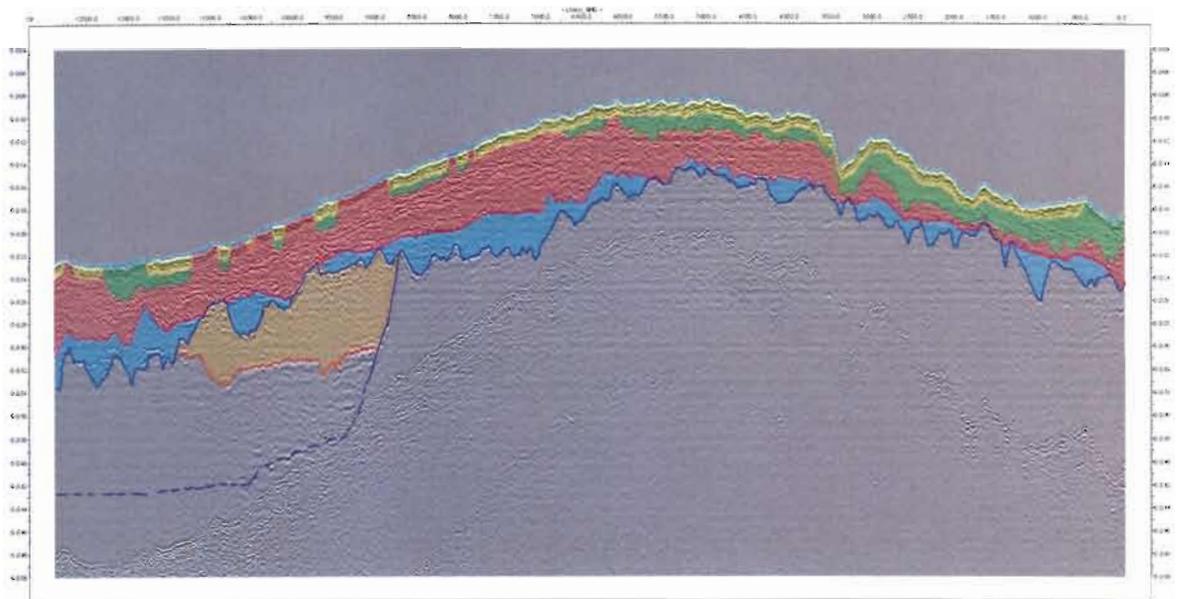


Figura 25 – Linha sísmica L6 interpretada.

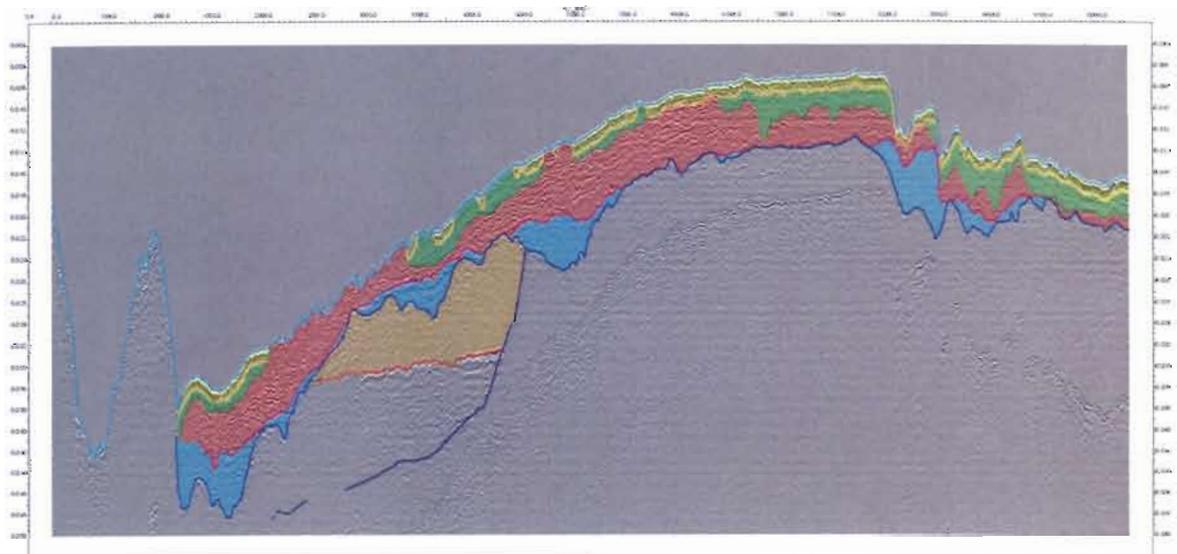


Figura 26 – Linha sísmica L7 interpretada.

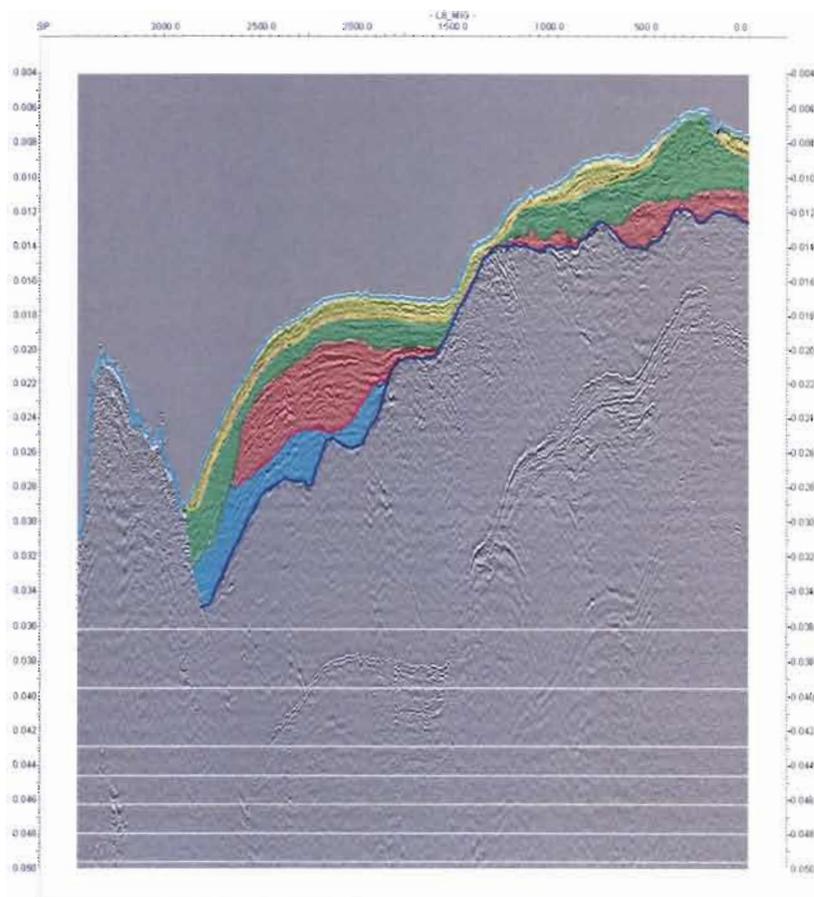


Figura 27 – Linha sísmica L8 interpretada.

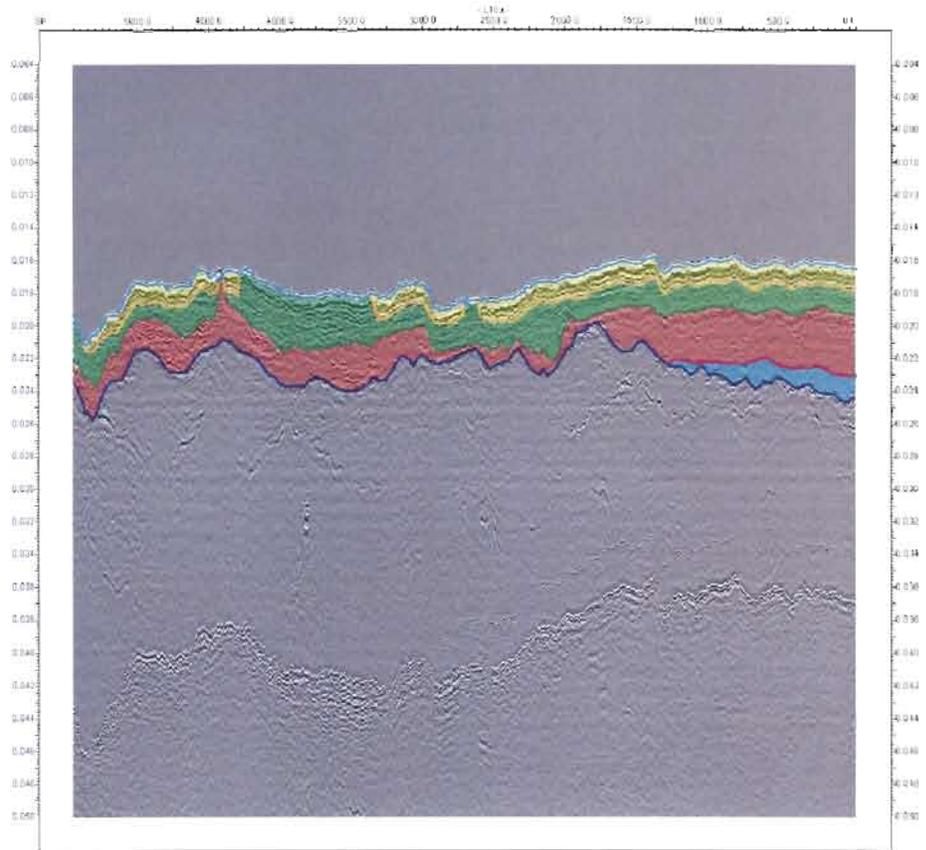


Figura 28 – Linha sísmica L10a interpretada.

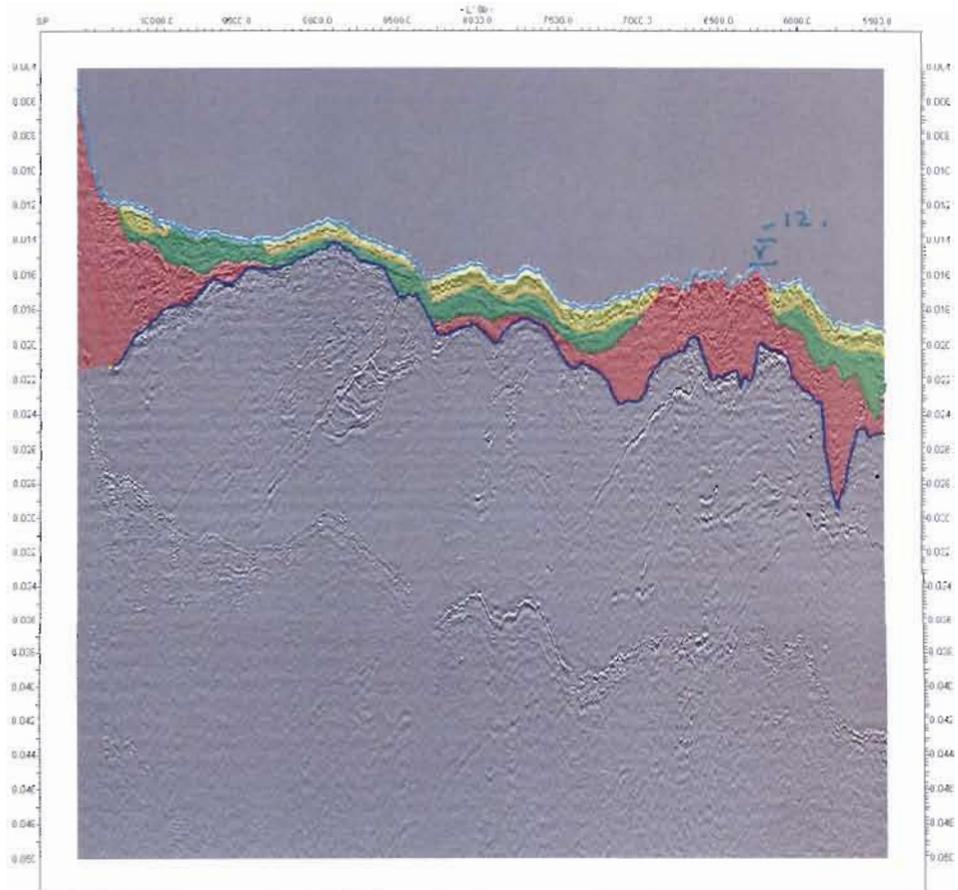


Figura 29 – Linha sísmica L10b interpretada.

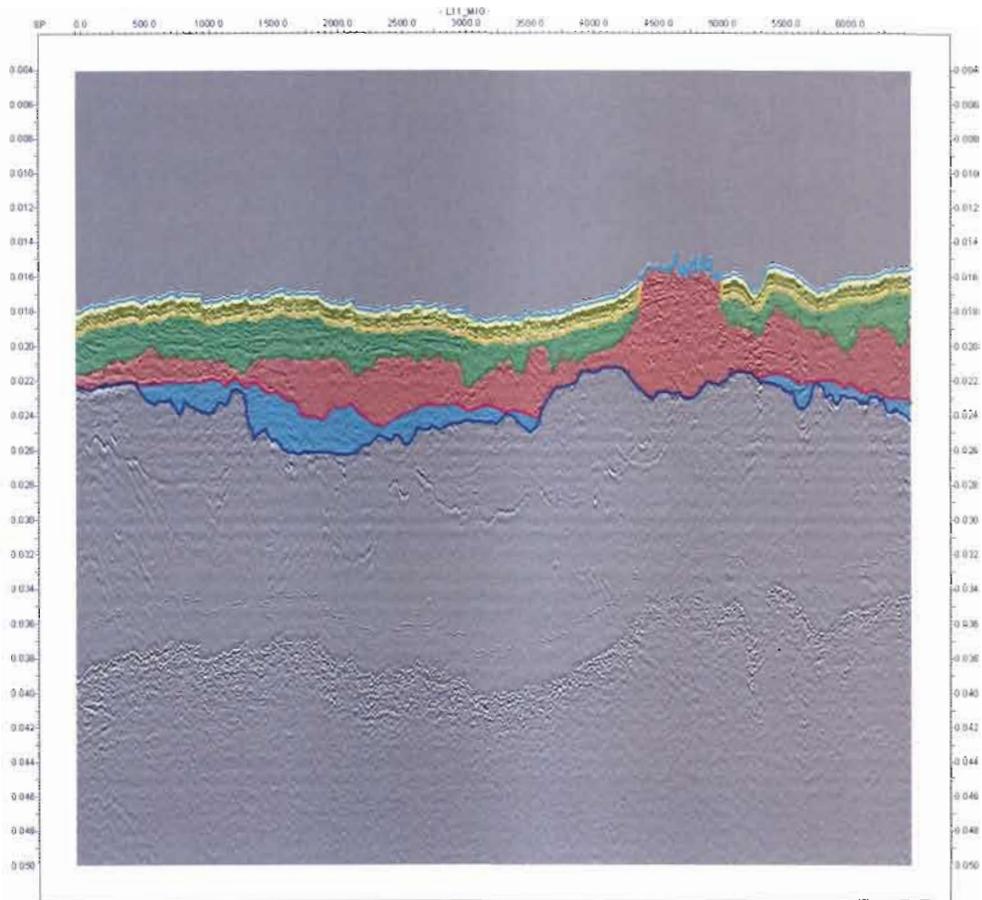


Figura 30 – Linha sísmica L11 interpretada.

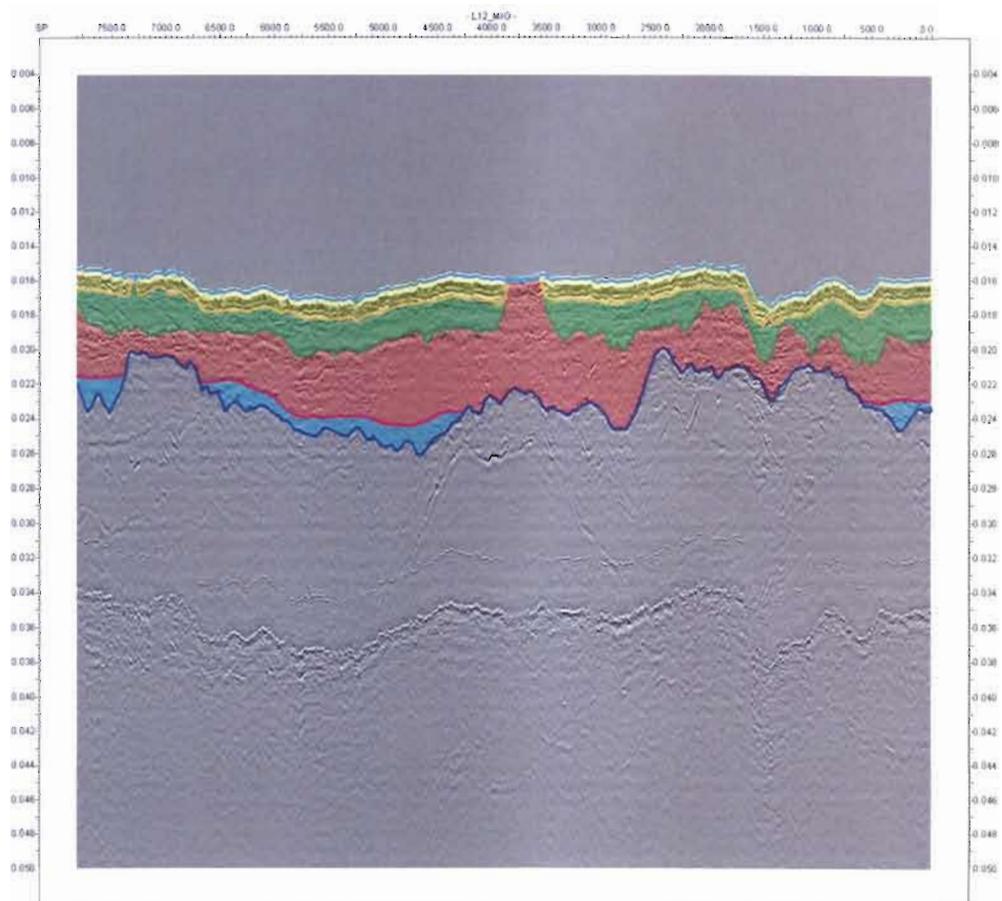


Figura 31 – Linha sísmica L12 interpretada.

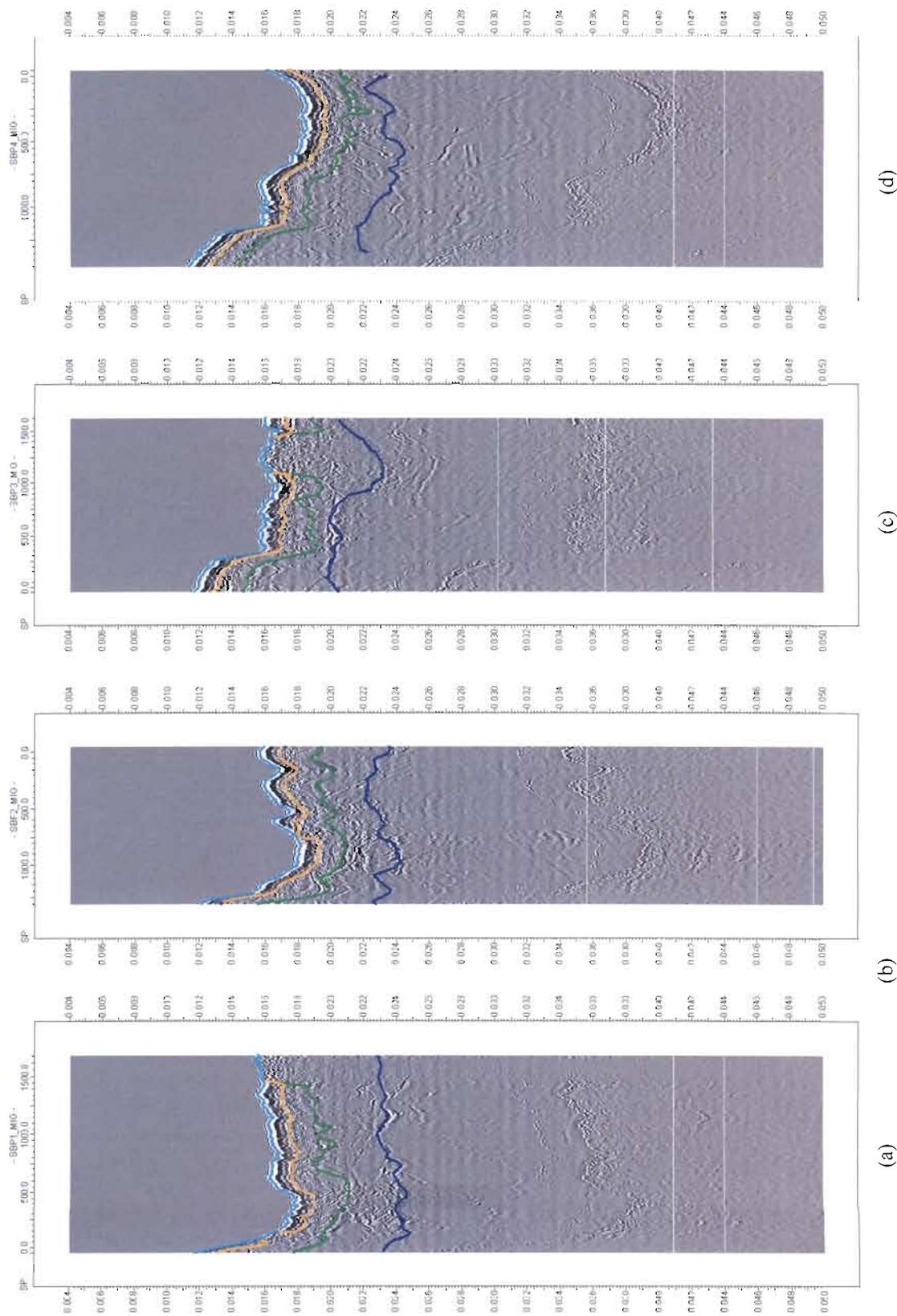


Figura 32 – Linhas Sísmicas SBP interpretadas: (a) SBP 1; (b) SBP 2; (c) SBP 3; SBP 4.

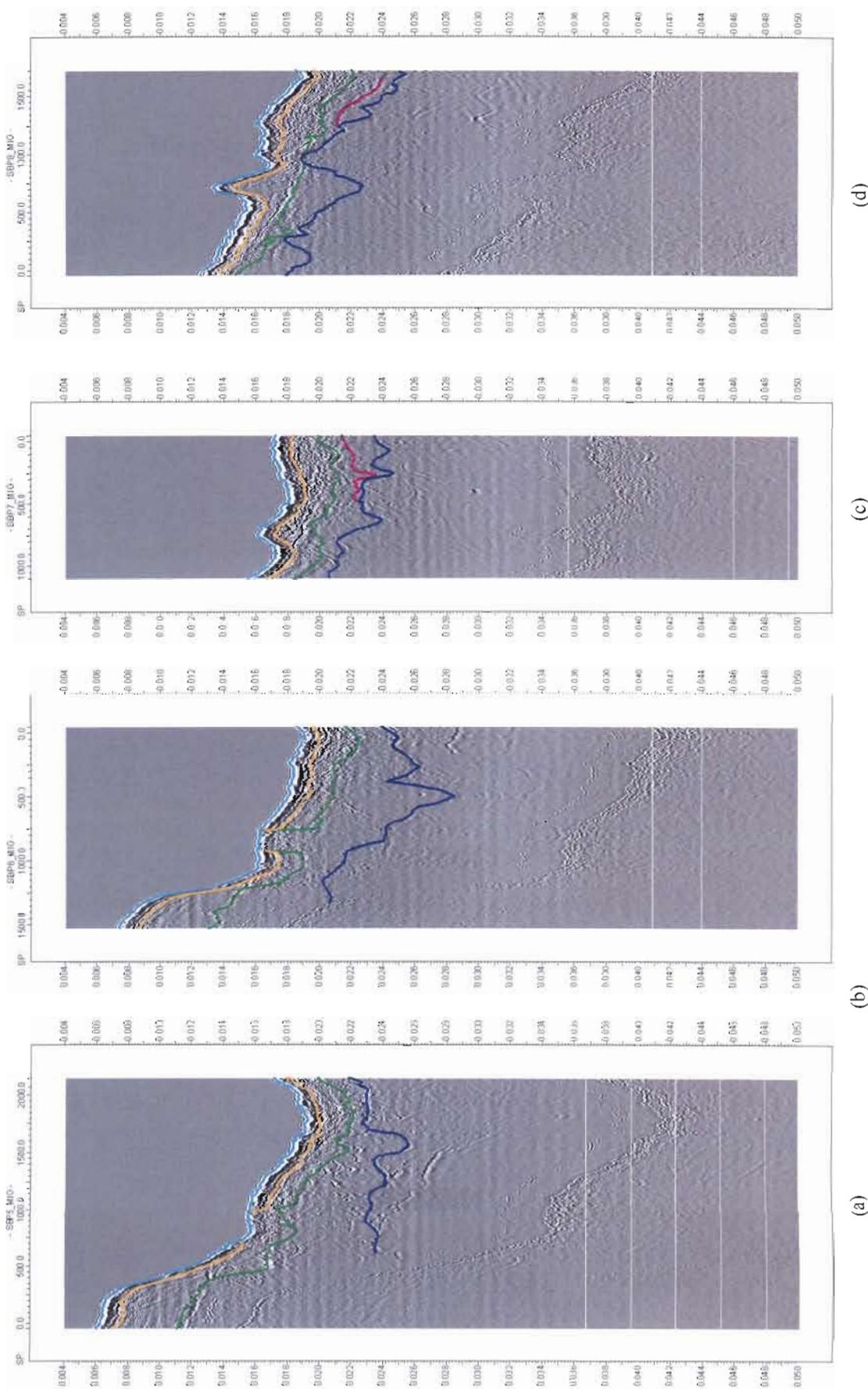
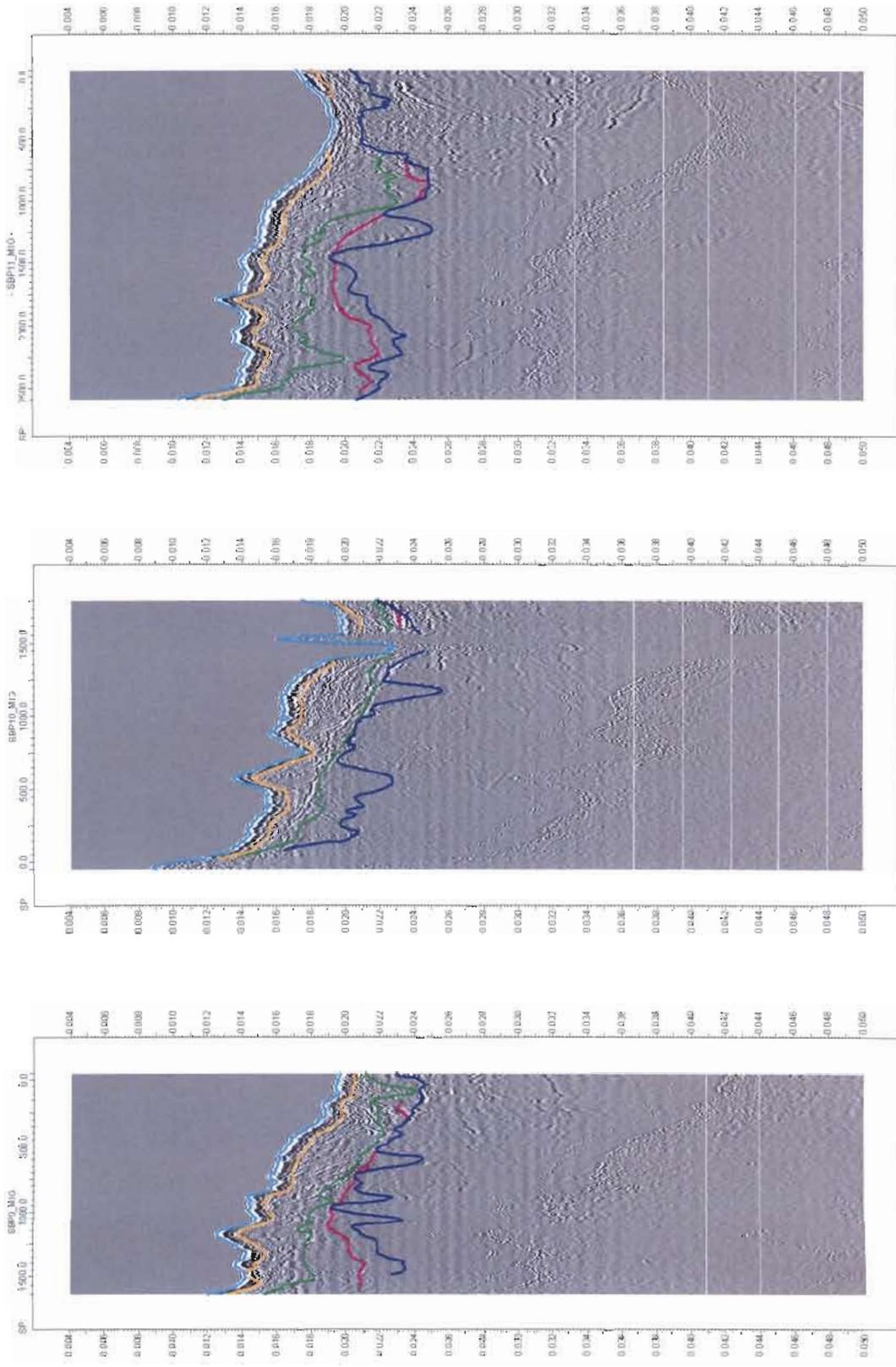
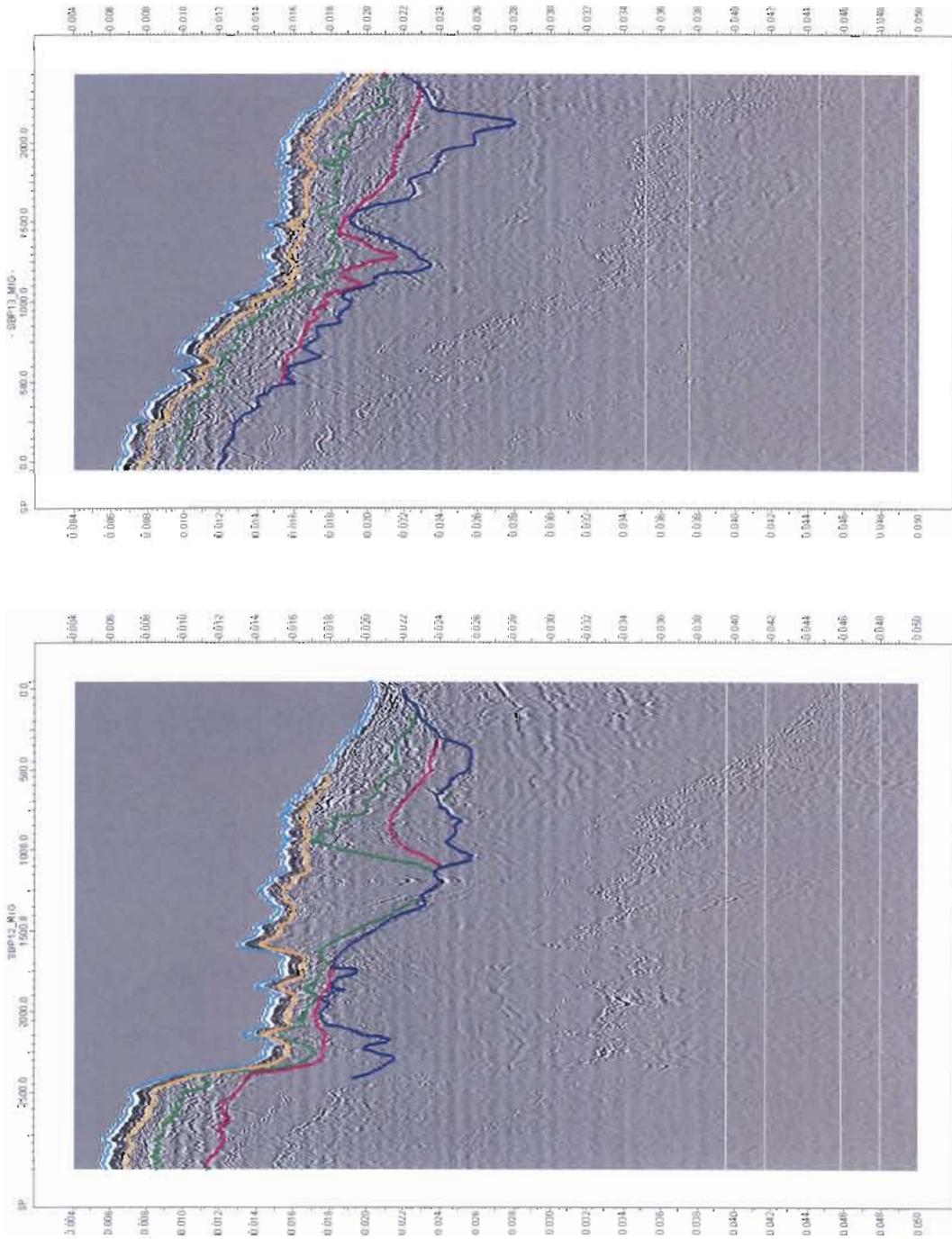


Figura 33 – Linhas Sísmicas SBP interpretadas: (a) SBP 5; (b) SBP 6; (c) SBP 7; SBP 8.



(a) (b) (c)

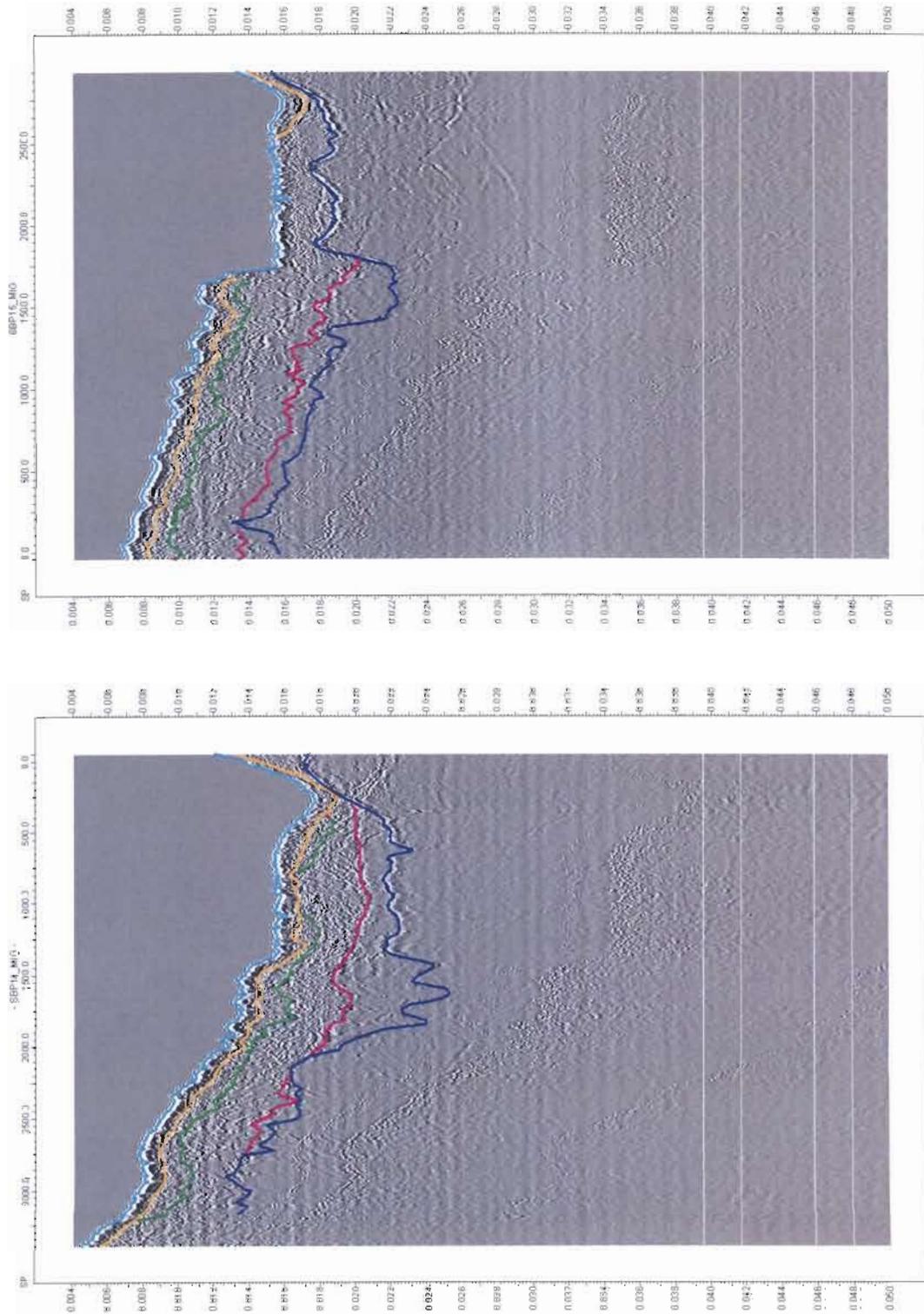
Figura 34 – Linhas Sísmicas SBP interpretadas: (a) SBP 9; (b) SBP 10; (c) SBP 11



(b)

(a)

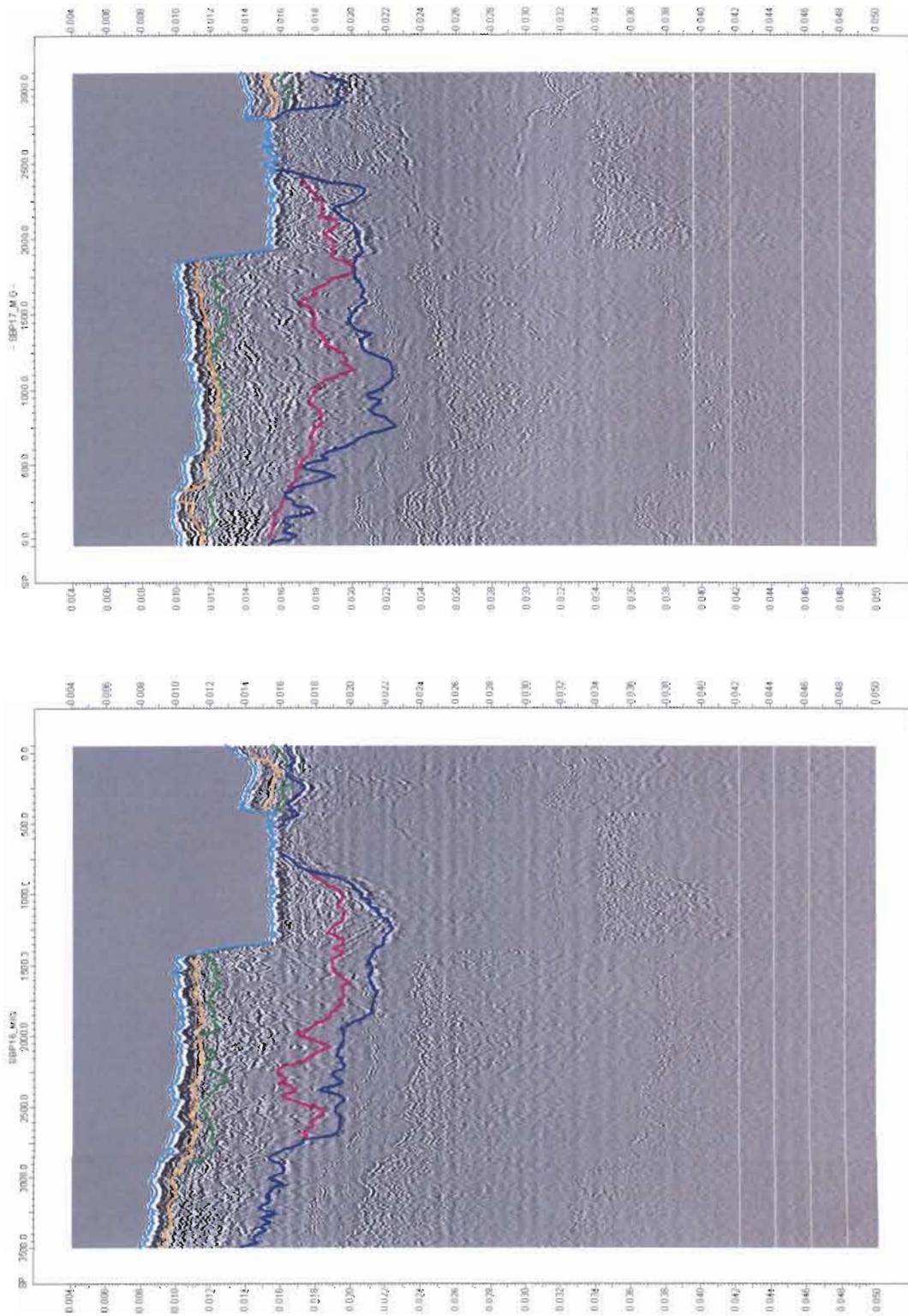
Figura 35 – Linhas Sísmicas SBP interpretadas: (a) SBP 12; (b) SBP 13.



(b)

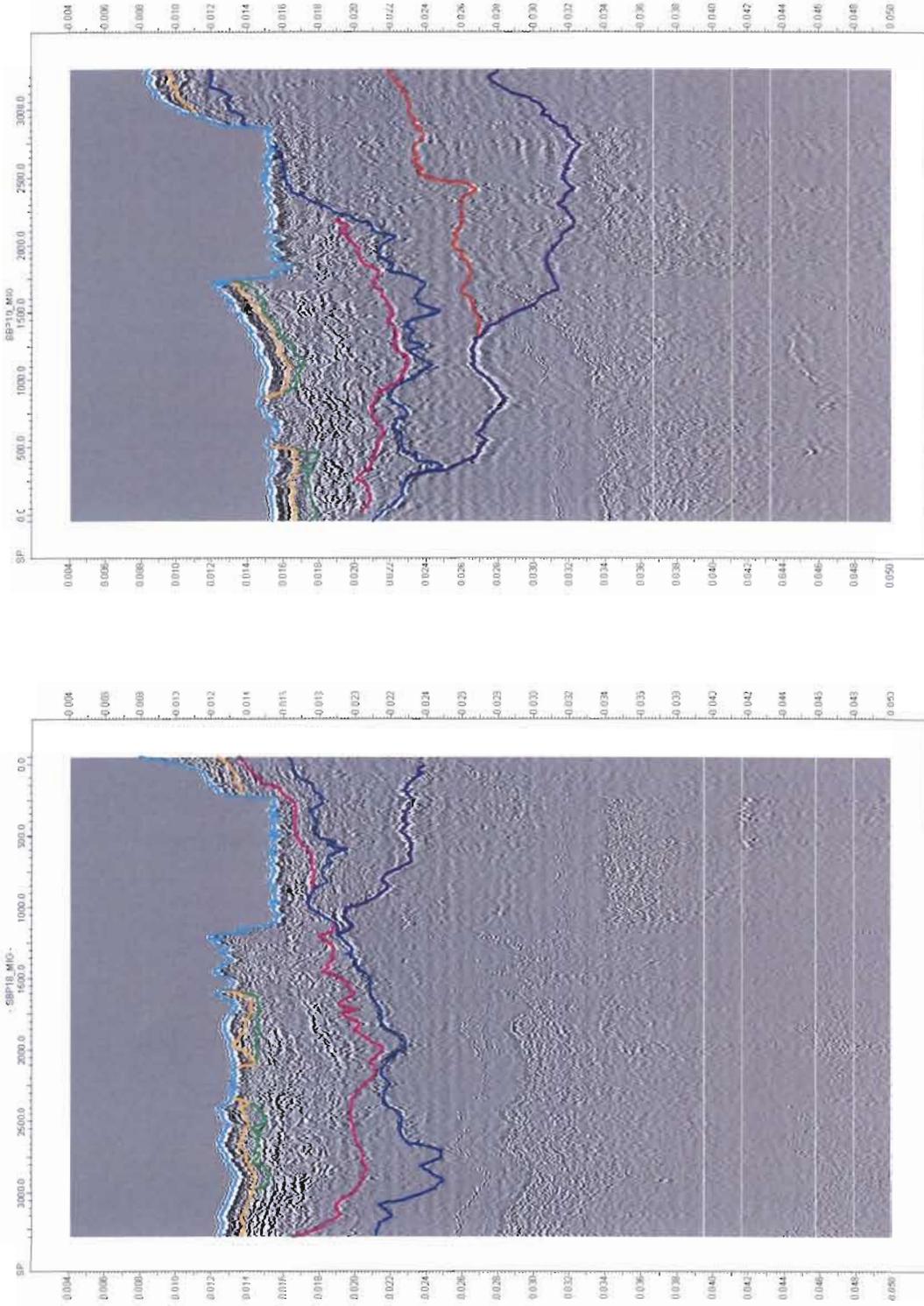
(a)

Figura 36 – Linhas Sísmicas SBP interpretadas: (a) SBP 14; (b) SBP 15.



(a) (b)

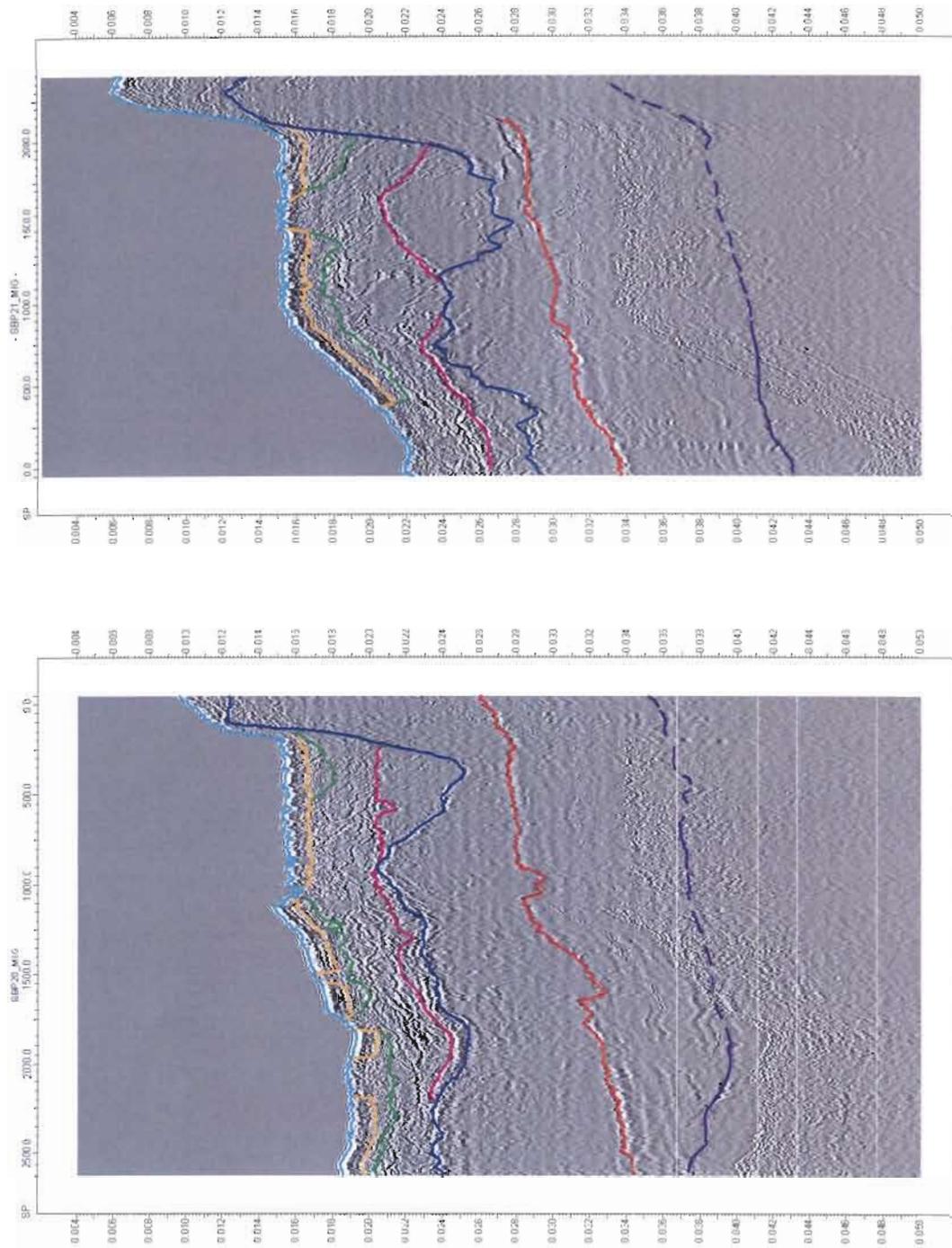
Figura 37 - Linhas Sísmicas SBP interpretadas: (a) SBP 16; (b) SBP 17



(a)

(b)

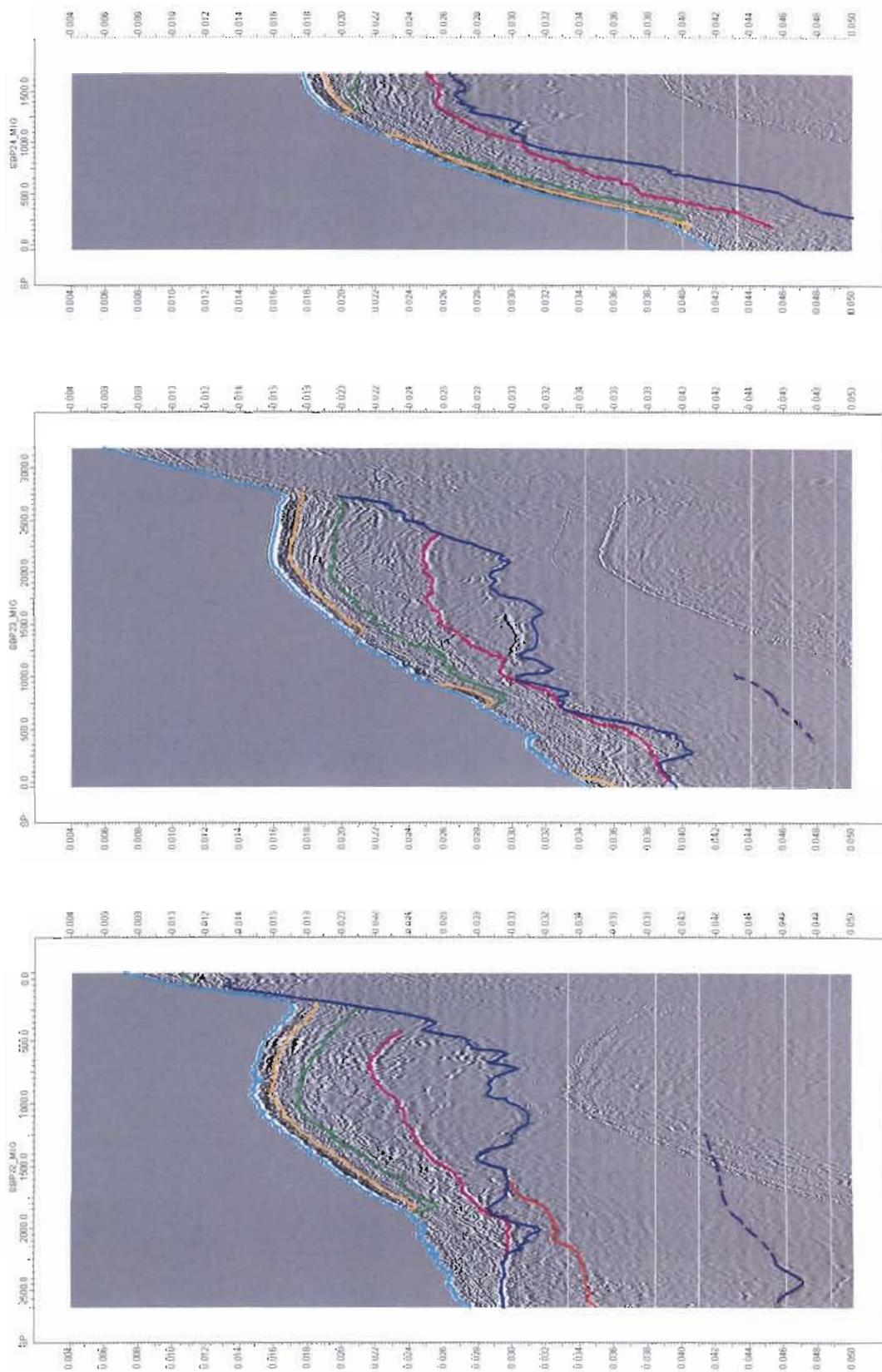
Figura 38 – Linhas Sísmicas SBP interpretadas: (a) SBP 18; (b) SBP 19.



(a)

(b)

Figura 39 – Linhas Sísmicas SBP interpretadas: (a) SBP 20; (b) SBP 21.



(c)

(b)

(a)

Figura 40 – Linhas Sísmicas SBP interpretadas: (a) SBP 22; (b) SBP 23; (c) SBP 24.

4. Conclusões

Os resultados obtidos permitiram caracterizar a reflectividade (por retrodispersão) dos sedimentos de fundo e identificar as unidades sedimentares aflorantes e subjacentes, até uma profundidade de cerca de 20m abaixo do fundo. De uma forma geral, no mosaico de sonar de varrimento lateral, os sedimentos mais superficiais apresentam uma certa homogeneidade na maior parte da área de estudo, mas foram identificadas algumas áreas com sedimentos mais grosseiros e ondas de areia, assim como locais onde unidades sedimentares mais profundas afloram, ou estão próximo da superfície. Foi igualmente possível identificar o provável prolongamento para o offshore da formação conhecida por “Pedra Furada”. Com estes dados foi possível cartografar a variabilidade lateral e em profundidade das várias unidades sedimentares presentes nesta área, em particular as mais superficiais, de maior interesse para as operações de dragagem. Com base nestes resultados pode otimizar-se uma campanha de sondagens para a calibração das várias unidades sísmicas. Uma vez seleccionadas as unidades mais importantes e determinada, com base nestes dados, a localização mais adequada para as sondar, será possível caracterizar as diferentes unidades geológicas na área de trabalho, o que permitirá planear e efectuar as operações de dragagem com maior segurança.

Agradecimentos

Agradece-se à Administração do Porto de Setúbal (APSS), e em particular ao Eng. Ernesto Carneiro e ao Dr. João Brás Pinto, todo o apoio recebido durante a preparação e realização da campanha de aquisição de dados, e pelas facilidades de logística no local e disponibilização de grua. Um agradecimento ao Dr. Filipe Batel e ao Sr. Abel Costeira, Mestre da embarcação *Ecomar*, por uma excelente campanha. Agradece-se a Ana Marisa Calhã e a Hugo Pascoal Garcia, o apoio na preparação de figuras do relatório.

ANEXO I – Especificações Técnicas do Sistema Combinado de Sonar de Varrimento Lateral e Chirp

O equipamento utilizado no levantamento de sonar de varrimento lateral é um sistema combinado Sub-bottom profiler / Side Scan Sonar da marca *EdgeTech*, modelo SB-512i (Figura I.1). As principais características do sonar de varrimento lateral são:

Frequência dupla simultânea: 100/400 kHz .

Alcance lateral máximo: 500m a 100KHz; 150m a 400KHz.

Largura do feixe sonar e Resolução espacial ao longo da linha:

100 kHz: 1.08 deg or 1.90 m @ 100 m

400 kHz: 0.56 deg or 0.96 m @100 m

Resolução através da linha:

100 kHz: 6.3 cm

400 kHz: 1.8 cm



Figura I.1: Peixe do sistema combinado Chirp Sonar / Side Scan Sonar *Edgetech* SB-512i.

ANEXO II – Cartas à Escala 1:10 000

01 Posicionamento das Linhas de Sonar de Varrimento Lateral e de Reflexão Sísmica (Linhas L e SBO) adquiridas junto ao Terminal Multiusos do Porto de Setúbal

02 Mosaico de Sonar de Varrimento Lateral junto ao Terminal Multiusos do Porto de Setúbal

03 Mosaico de Sonar de Varrimento Lateral e Linhas de Sonar de Varrimento Lateral e Linhas de Reflexão Sísmica (Linhas L e SB)) adquiridas junto ao Terminal Multiusos do Porto de Setúbal

04 Mapa da Espessura de Sedimentos Superficiais (U1) estimada através da interpretação da Sísmica de Reflexão

ANEXO III – Perfis de Reflexão Sísmica à Escala Horizontal Aproximada de 1:5 000