



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

**CARACTERIZAÇÃO DOS AMBIENTES INTERMAREAIS NOS DELTAS DE
ENCHENTE DAS BARRAS DA RIA FORMOSA RECORRENDO À
APLICAÇÃO DE SIGS. ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA, SEDIMENTAR E
HIDRODINÂMICA.**

Margarida Cortes Nobre Alves

Projeto

Mestrado em Geomática

Ramo de Análise de Sistemas Ambientais

Trabalho realizado sob a orientação de:
Prof. Doutor Duarte Nuno Ramos Duarte

2013

Declaração de autoria de trabalho

Eu, Margarida Cortes Nobre Alves declaro ser a autora deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referência incluída.

Margarida Alves

Copyright Margarida Alves. A Universidade do Algarve tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicitar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Resumo

Um delta de enchente de uma barra pode-se definir como sendo um banco arenoso que resulta da acumulação de sedimentos marinhos imediatamente a montante da barra por processos hidrodinâmicos essencialmente controlados pela maré e pela fisiografia do sistema. Este trabalho teve como principal objetivo fazer uma caracterização dos vários ambientes intermareais nos seis deltas de enchente da Ria Formosa. Para esta caracterização recorreu-se a levantamentos batimétricos efetuados por um ROV, à identificação e caracterização *in situ* de vários ambientes intermareais, e por fim, a ferramentas SIG. Das principais conclusões deste trabalho realçam-se a caracterização dos deltas de enchente pela presença de megadunas de enchente, áreas de dunas, *ripples* e estrias de enchente, áreas de dunas de enchente parcialmente erodidas por dunas de vazante e por frentes de progradação de enchente. Realça-se também, que nos ambientes intermareais em estudo, associados às barras de São Luís e de Tavira, constatarem-se taxas médias mensais de erosão da ordem dos 7206 m³/mês e dos 291 m³/mês, enquanto na Barra de Faro-Olhão, verificou-se uma tendência inversa, com uma taxa média mensal de sedimentação na ordem dos 57,7 m³/mês.

Palavras-Chave: Ambientes Intermareais, Deltas de Enchente, Ria Formosa, Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Abstract

A delta inlet can be defined as a sand bank resulting from the accumulation of marine sediments immediately upstream of the inlet's hydrodynamic processes, controlled mainly by the tides and by the physiographic character of the system. The main objective of this work was to perform the characterization of the intertidal environments of six flood deltas of the Ria Formosa. For this characterization we performed bathymetric surveys with a ROV, characterized and identified the intertidal environments *in situ*, and used GIS tools. The main conclusions of this study emphasize the presence in flood deltas of: mega-ripples, areas comprised of dunes, flood ripples and streaks, flood dune areas partially eroded by ebb dunes and flood fronts of progradation. We also highlight that the intertidal environments studied, associated to the inlets of São Luís and Tavira, had average monthly rates of erosion between 7206 m³/month and 291 m³/month, while the Faro-Olhão inlet had a reverse trend, with an average monthly rates of sedimentation of 57,7 m³/month.

Keywords: Intertidal environments, Ebb delta, Ria Formosa, Geographic Information System (GIS)

Índice

1. Introdução	1
1.1. Localização da área de estudo	1
1.2. Enquadramento deste trabalho	1
1.3. Objetivos e aplicabilidade prática	1
1.4. Importância do trabalho	2
2. Estado da Arte	4
3. Área de estudo	6
3.1. Enquadramento teórico	6
3.2. Ria Formosa	8
3.2.1. Barra do Ancão ou barra de São Luís	10
3.2.2. Barra de Faro-Olhão	12
3.2.3. Barra da Armona	13
3.2.4. Barra da Fuzeta	15
3.2.5. Barra de Tavira	16
3.2.6. Barra do Lacém	17
3.3. Ambientes de agitação	19
3.4. Morfodinâmica estuarina	20
4. Métodos	22
4.1. Métodos de campo	22
4.1.1. Recolha de dados Batimétricos	22
4.1.2. Medição das estruturas sedimentares de fundo	28
5. Resultados e discussão	29
5.1. DEBSL e ambientes intermareais adjacentes	29
5.1.1. Levantamento de 8 a 11 de agosto de 2009	29
5.1.2. Levantamento batimétrico de novembro de 2011	32
5.1.3. Comparação dos levantamentos de 2009 e 2011	36
5.2. DEBFO e ambiente intermareais adjacentes	37
5.2.1. Levantamento de 8-12 de agosto de 2010	37
5.2.2. Levantamento de fevereiro de 2013	42
5.2.3. Comparação dos levantamentos de 2010 e 2013	45
5.3. DEBA e ambientes intermareais adjacentes	47
5.4. DEBF e ambientes intermareais adjacentes	50
5.5. DEBT e ambientes intermareais adjacentes	56

5.5.1.	Levantamento de 4-7 de dezembro de 2010.....	56
5.5.2.	Levantamento de 29 de agosto de 2012.....	59
5.5.3.	Comparação dos levantamentos de 2010 e 2012.....	61
5.6.	DEBL e ambientes intermareais adjacentes	62
6.	Conclusões	69
7.	BIBLIOGRAFIA.....	73

Índice Figuras

FIGURA 4.1: PLANÍCIE INTERMAREAL COM <i>RIPPLES</i> QUE CONSTITUI UM DOS AMBIENTES SEDIMENTARES ADJACENTES AOS DELTAS DE ENCHENTE DA RIA FORMOSA.....	23
FIGURA 4.2: PLANÍCIE INTERMAREAL PLANA (PIP) QUE CONSTITUI UMA DAS ESTRUTURAS SEDIMENTARES PRESENTES NOS DIVERSOS BANCOS DE AREIA DA RIA FORMOSA.....	24
FIGURA 4.3: DEBSL. A) DUNAS DE ENCHENTE COM COMPRIMENTOS DE ONDA DE 1,5 M; B) FRENTE DE PROGRADAÇÃO DE ENCHENTE; C) ESTRIAS DE ENCHENTE.....	25
FIGURA 4.4: EQUIPAMENTO UTILIZADO PARA FAZER O LEVANTAMENTO DOS AMBIENTES INTERMAREAIS EM ZONAS SECAS OU COM POUCOS CENTÍMETROS DE COLUNA DE ÁGUA (MÁXIMO 5 CM). AO EQUIPAMENTO DEU-SE O NOME DE ROV - TOPODUNE.....	26
FIGURA 4.5: EQUIPAMENTO UTILIZADO PARA FAZER O LEVANTAMENTO DOS AMBIENTES INTERMAREAIS EM ZONAS COM ÁGUA. AO EQUIPAMENTO DEU-SE O NOME DE TRAQUITANA.....	27
FIGURA 4.6: MEDIÇÃO DE ESTRUTURAS SEDIMENTARES. DIREÇÃO DAS CRISTAS E MEDIÇÃO E DIREÇÃO DOS SENTIDOS DE FLUXOS.....	28
FIGURA 5.7: LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO DO DELTA DE ENCHENTE DA BARRA DE SÃO LUÍS E AMBIENTES INTERMAREAIS ADJACENTES, EFETUADO DE 8 A 10 DE AGOSTO DE 2009. REPRESENTAÇÃO DAS TRAJETÓRIAS REALIZADAS PELA TRAQUITANA. SISTEMA DE COORDENADAS DOS PONTOS: <i>DATUM 73 HAYFORD GAUSS IPCC</i>	30
FIGURA 5.8: INTERVALOS DE VARIAÇÃO DAS BATIMETRIAS LEVANTADAS NOS AMBIENTES INTERMAREAIS ASSOCIADOS AO DEBSL, EXPRESSAS EM METROS RELATIVOS AO ZERO HIDROGRÁFICO (MZH).....	31
FIGURA 5.9: MODELO DIGITAL DE TERRENO REFERENTE AO LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO DO DELTA DE ENCHENTE DA BARRA DE SÃO LUÍS E AMBIENTES INTERMAREAIS ADJACENTES, EFETUADO DE 8 A 11 DE AGOSTO DE 2009, NO SISTEMA UTM, <i>DATUM 73 HAYFORD GAUSS-IPCC</i>	32
FIGURA 5.10: LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO DO DELTA DE ENCHENTE DA BARRA DE SÃO LUÍS E AMBIENTES INTERMAREAIS ADJACENTES, EFETUADO EM NOVEMBRO DE 2011. REPRESENTAÇÃO DAS TRAJETÓRIAS REALIZADOS PELO ROV - TOPODUNE E PELA TRAQUITANA. SISTEMA DE COORDENADAS DOS PONTOS: <i>DATUM 73 HAYFORD GAUSS IPCC</i>	33
FIGURA 5.11: INTERVALOS DE VARIAÇÃO DAS BATIMETRIAS LEVANTADAS NOS AMBIENTES INTERMAREAIS ASSOCIADOS AO DEBSL, EXPRESSAS EM METROS RELATIVOS AO ZERO HIDROGRÁFICO (MZH).....	34
FIGURA 5.12: MODELO DIGITAL DE TERRENO REFERENTE AO LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO DO DELTA DE ENCHENTE DA BARRA DE SÃO LUÍS E AMBIENTES INTERMAREAIS ADJACENTES, EFETUADO EM FEVEREIRO DE 2012, NO SISTEMA UTM, <i>DATUM 73 HAYFORD GAUSS-IPCC</i>	35
FIGURA 5.13: COMPARAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS ENTRE OS ANOS DE 2009 E 2011 NO DEBSL.....	37
FIGURA 5.14: LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO DO DELTA DE ENCHENTE DA BARRA DE FARO-OLHÃO E AMBIENTES INTERMAREAIS ADJACENTES, EFETUADO DE 8 A 12 DE AGOSTO DE 2010. REPRESENTAÇÃO DAS TRAJETÓRIAS REALIZADOS PELO ROV - TOPODUNE E PELA TRAQUITANA. SISTEMA DE COORDENADAS DOS PONTOS: <i>DATUM 73 HAYFORD GAUSS IPCC</i>	38
FIGURA 5.15: INTERVALOS DE VARIAÇÃO DAS BATIMETRIAS LEVANTADAS NOS AMBIENTES INTERMAREAIS ASSOCIADOS AO DEBFO, EXPRESSAS EM METROS RELATIVOS AO ZERO HIDROGRÁFICO (MZH).....	39
FIGURA 5.16: MODELO DIGITAL DE TERRENO REFERENTE AO LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO DO DELTA DE ENCHENTE DA BARRA DE FARO-OLHÃO E AMBIENTES INTERMAREAIS ADJACENTES, EFETUADO DE 8 A 12 DE AGOSTO DE 2010, NO SISTEMA UTM, <i>DATUM 73 HAYFORD GAUSS-IPCC</i> . PROJEÇÃO DO DEBFO (DE), DAS ÁREAS DE <i>RIPPLES</i> DE ENCHENTE (RE), DAS ÁREAS COM DUNAS DE ENCHENTE (DE), DAS ÁREAS DE CAMADAS DE VASA CORRESPONDENTES A ANTIGOS SAPAIS (VN), DAS PLANÍCIES INTERMAREAIS PLANAS (PIP) E DAS ÁREAS COM DUNAS DE VAZANTE (DV).....	40
FIGURA 5.17: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS DIREÇÕES DAS ESTRUTURAS SEDIMENTARES DE FUNDO E DOS SENTIDOS DE FLUXO NO DEBFO. CAMPANHA DE 8-12 DE AGOSTO DE 2010, NO SISTEMA UTM, <i>DATUM 73 HAYFORD GAUSS-IPCC</i>	41
FIGURA 5.18: LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO DO DELTA DE ENCHENTE DA BARRA DE FARO-OLHÃO E AMBIENTES INTERMAREAIS ADJACENTES, EFETUADO EM FEVEREIRO DE 2013. REPRESENTAÇÃO DAS	

TRAJETÓRIAS REALIZADOS PELO ROV - TOPODUNE E PELA TRAQUITANA. SISTEMA DE COORDENADAS DOS PONTOS: <i>DATUM 73 HAYFORD GAUSS IPCC</i>	43
FIGURA 5.19: INTERVALOS DE VARIAÇÃO DAS BATIMETRIAS LEVANTADAS NOS AMBIENTES INTERMAREAIS ASSOCIADOS AO DEBFO, EXPRESSAS EM METROS RELATIVOS AO ZERO HIDROGRÁFICO (mZH).....	44
FIGURA 5.20: MODELO DIGITAL DE TERRENO REFERENTE AO LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO DO DELTA DE ENCHENTE DA BARRA DE FARO-OLHÃO E AMBIENTES INTERMAREAIS ADJACENTES, EFETUADO EM FEVEREIRO DE 2013, NO SISTEMA UTM, <i>DATUM 73 HAYFORD GAUSS-IPCC</i> . PROJEÇÃO DO DEBFO (DE), DAS ÁREAS COM DUNAS DE ENCHENTE (DE), DAS ÁREAS DE CAMADAS DE VASA CORRESPONDENTES A ANTIGOS SAPAIS (VN) E DAS PLANÍCIES INTERMAREAIS PLANAS (PIP).	45
FIGURA 5.21: COMPARAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS ENTRE OS ANOS DE 2010 E 2013 NO DEBFO.....	47
FIGURA 5.22: LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO DO DELTA DE ENCHENTE DA BARRA DE ARMONA E AMBIENTES INTERMAREAIS ADJACENTES, EFETUADO DE 8 A 12 DE ABRIL DE 2010. REPRESENTAÇÃO DAS TRAJETÓRIAS REALIZADOS PELO ROV - TOPODUNE E PELA TRAQUITANA. SISTEMA DE COORDENADAS DOS PONTOS: <i>DATUM 73 HAYFORD GAUSS IPCC</i>	48
FIGURA 5.23: INTERVALOS DE VARIAÇÃO DAS BATIMETRIAS LEVANTADAS NOS AMBIENTES INTERMAREAIS ASSOCIADOS AO DEBA, EXPRESSAS EM METROS RELATIVOS AO ZERO HIDROGRÁFICO (mZH).	49
FIGURA 5.24: MODELO DIGITAL DE TERRENO REFERENTE AO LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO DO DELTA DE ENCHENTE DA BARRA DA ARMONA E AMBIENTES INTERMAREAIS ADJACENTES, EFETUADO DE 8 A 12 DE ABRIL DE 2010, NO SISTEMA UTM, <i>DATUM 73 HAYFORD GAUSS-IPCC</i> . PROJEÇÃO DO DELTA DE ENCHENTE DA BARRA DA ARMONA (DEBA), ÁREAS DE DUNAS DE ENCHENTE (DE), ÁREAS DE PLANÍCIES INTERMAREAIS PLANAS (PIP), ÁREAS DE PLANÍCIES INTERMAREAIS COM <i>RIPPLES</i> , CAMPOS DE ERVAS MARINHAS (CEM), ÁREAS COM MEGADUNAS DE ENCHENTE (MDE) E ÁREAS COM FRENTE DE PROGRADAÇÃO (FP).....	50
FIGURA 5.25: LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO DO DELTA DE ENCHENTE DA BARRA DA FUZETA E AMBIENTES INTERMAREAIS ADJACENTES, EFETUADO EM SETEMBRO DE 2010. REPRESENTAÇÃO DAS TRAJETÓRIAS REALIZADOS PELO ROV - TOPODUNE E PELA TRAQUITANA. SISTEMA DE COORDENADAS DOS PONTOS: <i>DATUM 73 HAYFORD GAUSS IPCC</i>	51
FIGURA 5.26: INTERVALOS DE VARIAÇÃO DAS BATIMETRIAS LEVANTADAS NOS AMBIENTES INTERMAREAIS ASSOCIADOS AO DEBF, EXPRESSAS EM METROS RELATIVOS AO ZERO HIDROGRÁFICO (mZH).....	52
FIGURA 5.27: MODELO DIGITAL DE TERRENO REFERENTE AO LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO DO DELTA DE ENCHENTE DA BARRA DE FUZETA E AMBIENTES INTERMAREAIS ADJACENTES, EFETUADO EM SETEMBRO DE 2010, NO SISTEMA UTM, <i>DATUM 73 HAYFORD GAUSS-IPCC</i> . PROJEÇÃO DO DELTA DE ENCHENTE DA BARRA DA FUZETA (DEBF), DAS PLANÍCIES INTERMAREAIS PLANAS (PIP) E DAS ÁREAS COM FRENTE DE PROGRADAÇÃO (FP).	53
FIGURA 5.28: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS DIREÇÕES DAS ESTRUTURAS SEDIMENTARES DE FUNDO E DOS SENTIDOS DE FLUXO NO DEBF. A) SETOR CENTRAL E NORTE DO DEBF; B) SETOR SUL DO DEBF. CAMPANHA DE SETEMBRO DE 2010, NO SISTEMA UTM, <i>DATUM 73 HAYFORD GAUSS-IPCC</i>	55
FIGURA 5.29: LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO DO DELTA DE ENCHENTE DA BARRA DE TAVIRA E AMBIENTES INTERMAREAIS ADJACENTES, EFETUADO DE 4 A 7 DE DEZEMBRO DE 2010. REPRESENTAÇÃO DAS TRAJETÓRIAS REALIZADOS PELO ROV - TOPODUNE E PELA TRAQUITANA. SISTEMA DE COORDENADAS DOS PONTOS: <i>DATUM 73 HAYFORD GAUSS IPCC</i>	56
FIGURA 5.30: INTERVALOS DE VARIAÇÃO DAS BATIMETRIAS LEVANTADAS NOS AMBIENTES INTERMAREAIS ASSOCIADOS AO DEBT, EXPRESSAS EM METROS RELATIVOS AO ZERO HIDROGRÁFICO (mZH).	57
FIGURA 5.31: MODELO DIGITAL DE TERRENO REFERENTE AO LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO DO DELTA DE ENCHENTE DA BARRA DE TAVIRA E AMBIENTES INTERMAREAIS ADJACENTES, EFETUADO DE 4 A 7 DE DEZEMBRO DE 2010, NO SISTEMA UTM, <i>DATUM 73 HAYFORD GAUSS-IPCC</i> . PROJEÇÃO DO DELTA DE ENCHENTE DA BARRA DE TAVIRA (DEBT), DAS PLANÍCIES INTERMAREAIS PLANAS (PIP), DAS PLANÍCIES INTERMAREAIS COM <i>RIPPLES</i> (PIR) E DAS ÁREAS COM DUNAS DE VAZANTE (DV).	58
FIGURA 5.32: LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO DO DELTA DE ENCHENTE DA BARRA DE TAVIRA E AMBIENTES INTERMAREAIS ADJACENTES, EFETUADO A 29 DE AGOSTO DE 2012. REPRESENTAÇÃO DAS	

TRAJETÓRIAS REALIZADOS PELA TRAQUITANA. SISTEMA DE COORDENADAS DOS PONTOS: <i>DATUM 73 HAYFORD GAUSS IPCC</i>	59
FIGURA 5.33: INTERVALOS DE VARIAÇÃO DAS BATIMETRIAS LEVANTADAS NOS AMBIENTES INTERMAREAIS ASSOCIADOS AO DEBT, EXPRESSAS EM METROS RELATIVOS AO ZERO HIDROGRÁFICO (MZH).	60
FIGURA 5.34: MODELO DIGITAL DE TERRENO REFERENTE AO LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO DO DELTA DE ENCHENTE DA BARRA DE TAVIRA E AMBIENTES INTERMAREAIS ADJACENTES, EFETUADO A 29 DE AGOSTO DE 2012, NO SISTEMA UTM, <i>DATUM 73 HAYFORD GAUSS-IPCC</i>	61
FIGURA 5.35: COMPARAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS ENTRE OS ANOS DE 2010 E 2012 NO DEBT.	62
FIGURA 5.36: LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO DO DELTA DE ENCHENTE DA BARRA DO LACÉM E AMBIENTES INTERMAREAIS ADJACENTES, EFETUADO DE 10 A 18 DE JULHO DE 2010. REPRESENTAÇÃO DAS TRAJETÓRIAS REALIZADOS PELO ROV - TOPODUNE E PELA TRAQUITANA. SISTEMA DE COORDENADAS DOS PONTOS: <i>DATUM 73 HAYFORD GAUSS IPCC</i>	63
FIGURA 5.37: INTERVALOS DE VARIAÇÃO DAS BATIMETRIAS LEVANTADAS NOS AMBIENTES INTERMAREAIS ASSOCIADOS AO DEBL, EXPRESSAS EM METROS RELATIVOS AO ZERO HIDROGRÁFICO (MZH).	64
FIGURA 5.38: MODELO DIGITAL DE TERRENO REFERENTE AO LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO DO DELTA DE ENCHENTE DA BARRA DO LACÉM E AMBIENTES INTERMAREAIS ADJACENTES, EFETUADO DE 10 A 18 DE JULHO DE 2010, NO SISTEMA UTM, <i>DATUM 73 HAYFORD GAUSS-IPCC</i> . PROJEÇÃO DO DELTA DE ENCHENTE NA BARRA DO LACÉM (DEBL), DAS PLANÍCIES INTERMAREAIS PLANAS (PIP) E DAS ÁREAS COM DUNAS DE ENCHENTE PARCIALMENTE ERODIDAS POR DUNAS DE VAZANTE (DV-E).	65
FIGURA 5.39: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS DIREÇÕES DAS ESTRUTURAS SEDIMENTARES DE FUNDO E DOS SENTIDOS DE FLUXO NO DEBL. A) SETOR OESTE DO DEBL; B) SETOR CENTRAL DO DEBL; C) SETOR ESTE DO DEBL. CAMPANHA DE 10 A 18 DE JULHO DE 2010, NO SISTEMA UTM, <i>DATUM 73 HAYFORD GAUSS-IPCC</i>	68

Abreviaturas, Siglas e Unidades

SO - Sudoeste

SE - Sudeste

O - Oeste

E – Este

N- Norte

S- Sul

NE – Nordeste

NO – Noroeste

MDT – Modelo Digital de Terreno

H_{SO} – Altura Significativa ao largo

DEBSL – Delta de Enchente da Barra de São Luís

DEBL – Delta de Enchente da Barra do Lacém

DEBFO – Delta de Enchente da Barra de Faro - Olhão

DEBA – Delta de Enchente da Barra da Armona

DEBF – Delta de Enchente da Barra da Fuzeta

DEBT – Delta de Enchente da Barra de Tavira

km – Quilómetros

m - metros

ha - hectare

s – Segundos

mm – milímetros

μm – micrómetros

φ - phi

°C – graus Celsius

g – grama

1. Introdução

1.1. Localização da área de estudo

A Ria Formosa pode ser definida como um sistema lagunar localizado a Sul de Portugal (Algarve). Este sistema pode designar-se como um sistema de múltiplas barras de maré pois são sub-sistemas hidrodinamicamente conectados e portanto, uma mudança morfológica numa determinada barra poderá modificar o comportamento hidrodinâmico das restantes barras e de outros canais adjacentes (Salles *et al.*, 2005 e Pacheco, 2010). Para este trabalho foram consideradas seis barras (barra do Ancão ou de São Luís, barra de Faro-Olhão, barra da Armona, barra da Fuzeta, barra de Tavira e barra do Lacém), onde em cada uma se pode identificar um delta de enchente associado (Salles *et al.*, 2005). Os deltas de enchente e os ambientes intermareais envolventes foram identificados como correspondendo aos bancos sedimentares localizados na parte interior das barras e que resultaram da acumulação de materiais detríticos transportados durante as fases de enchente.

1.2. Enquadramento deste trabalho

Esta tese enquadrou-se no mestrado de Geomática da Universidade do Algarve e correspondeu ao projeto deste mestrado. Os trabalhos de campo realizados para a obtenção de dados batimétricos, bem como a realização de medições das formas de fundo e a recolha das amostras de sedimentos foram realizados no âmbito do projeto MaréFormosa.

1.3. Objetivos e aplicabilidade prática

Este trabalho teve como principal objetivo fazer uma caracterização dos vários ambientes intermareais nos seis principais deltas de enchente da Ria Formosa. Para esta caracterização recorreu-se a levantamentos batimétricos efetuados por um ROV – TopoDune, à identificação e caracterização *in situ* de vários ambientes intermareais, e por fim, a ferramentas SIG.

Relativamente aos objetivos específicos deste trabalho, realçam-se:

- Executar levantamentos batimétricos dos vários deltas de enchente da Ria Formosa com recurso a um DGPS;
- Desenvolvimento de um SIG para compilar e processar toda a informação hidrodinâmica, sedimentar, cartográfica e morfodinâmica deste projeto de tese;
- Interpolar dados batimétricos georreferenciados nos referidos deltas;
- Aplicar modelos digitais de terreno (MDT) para definir superfícies batimétricas dos bancos de areia e as macroformas associadas;
- Cartografar os vários ambientes intermareais, quantificar as suas áreas, volumes de água a eles associados e suas variações espaço-temporais;
- Aplicar modelos de interpolação para definir as tendências de variação espaciais de vários parâmetros geomorfológicos, sedimentares e hidrodinâmicos naqueles ambientes.

Para além dos objetivos acima mencionados, os resultados obtidos no âmbito deste trabalho permitirão melhor perceber e quantificar a forma como a onda de maré se propaga e perde energia ao propagar-se nestes setores intermareais localizados imediatamente a montante da barra.

1.4. Importância do trabalho

Este trabalho ao ser constituído por dados recolhidos *in situ* em vários ambientes intermareais da Ria Formosa, adjacentes às principais barras, constitui um forte contributo para o conhecimento científico deste sistema lagunar, no que diz respeito à hidrodinâmica, ao transporte sedimentar e consequentemente com a morfodinâmica. Com este estudo foi possível criar uma base de dados de campo hidrodinâmicos, sedimentares e morfodinâmicos, referentes à Ria Formosa, permitindo, deste modo, caracterizar os ambientes intermareais associados aos deltas de enchente das barras da Ria Formosa. Também possibilitou fazer uma caracterização espaço-temporal de parâmetros hidrodinâmicos, sedimentares e morfodinâmicos. Desta forma, aplicou-se uma abordagem metodológica e

integradora de várias áreas do conhecimento, desenvolvendo metodologias de aquisição de dados de campo adaptáveis a estes ambientes muito efêmeros. Para além do que foi citado anteriormente, realçam-se os resultados e as conclusões obtidos no âmbito deste trabalho que constituem um grande contributo para o conhecimento do funcionamento hidrodinâmico, sedimentar e morfodinâmico no interior da Ria Formosa.

Deste trabalho realça-se a delimitação real dos deltas de enchente das barras em estudo, o conhecimento da dinâmica dos volumes sedimentares nestes ambientes intermareais, o conhecimento dos padrões de circulação da água no interior dos deltas, entre outros.

2. Estado da Arte

Segundo Davis (1978), um delta de enchente de uma barra pode ser definido como um banco arenoso que resulta da acumulação de sedimentos marinhos imediatamente a montante da barra por processos hidrodinâmicos essencialmente controlados pela maré e pela fisiografia do sistema. A agitação marinha interfere diretamente na hidrodinâmica do delta de enchente. As correntes induzidas localmente pela ação do vento têm uma contribuição muito pequena. O transporte sedimentar é principalmente controlado pelas correntes de maré, uma vez que os sedimentos marinhos são transportados pelas correntes de enchente para o interior do sistema, depositando-se na proximidade da barra, gerando um “delta” pouco profundo, local onde a magnitude das correntes aumenta. O fundo deste ambiente é geralmente caracterizados por dunas e alguns “*megaripples*” (Davis, 1978). Segundo Van Rijn (2007a) as formas de fundo que se observam nestes ambientes correspondem a *megaripples* assimétricos e dunas fracamente assimétricas ou simétricas. Este mesmo autor define que os *megaripples* apresentam uma altura de 0,03 a 0,1 vezes a profundidade da água e uma escala de comprimento da ordem da profundidade da água. Esta forma de fundo enumerada anteriormente é geralmente gerada na fase da enchente, nos canais de vazante e os sedimentos de fundo apresentam tamanhos de cerca de 500 μm . A forma destes *megaripples* é tipicamente assimétrica na direção da corrente principal. A reorientação desta estrutura sedimentar ocorre com a inversão da maré. Relativamente às dunas, estas apresentam geralmente comprimentos de várias vezes (10 a 20) a profundidade da água. As dunas são geradas em canais de maré com camadas de fundo formadas por sedimentos relativamente finos, inferiores a 150 μm (Van Rijn, 2007a).

O transporte de sedimentos nas proximidades das barras de maré é muito complexo, tornando-se assim um dos sistemas mais difíceis de quantificar a nível dos sistemas costeiros. Nas barras de maré, a areia move-se sob a ação combinada das ondas e das correntes, sobreposta à batimetria altamente variável com a constante alteração dos níveis de água. A caracterização dos padrões de transporte de areia nas barras requer a consideração de uma vasta gama de escalas espaciais e temporais, onde fazem parte o movimento do grão de areia individual (centímetro / segundo), a migração das formas de fundo (metros / dia), e o deslocamento de grandes barras (centenas de metros /ano) (FitzGerald *et al.*, 2000). Perante o que foi

dito anteriormente, Kraus & Rosati (1998) afirmaram que os orçamentos de sedimentos são particularmente difíceis de formular em barras, pois os caminhos para o movimento dos sedimentos são complexos e não são conhecidos nem diretamente mensuráveis. Os caminhos que os sedimentos seguem quando entram nas barras podem ser divididos em duas ou três rotas e à repartição de materiais ao longe desses caminhos.

3. Área de estudo

3.1. Enquadramento teórico

Escoffier (1940) definiu uma barra como canal de maré, quando o fluxo de água é dominado pela maré ao invés da vazão de um rio. Já Fontolan *et al.* (2007) definiu as barras de maré como aberturas naturais ao longo da linha de costa, onde existe conexão entre o oceano e as baías, lagos e rias. As barras de maré influenciam fortemente a dinâmica global de um sistema lagunar (Pacheco, 2010) e estão entre os componentes costeiros mais dinâmicos (Pacheco *et al.* 2007 e Pacheco *et al.*, 2008). As complexas interações espaciais e temporais das ondas, marés e correntes, criam e modificam constantemente a morfologia e a estrutura sedimentar das barras de maré (Stauble, 1998, Pacheco *et al.*, 2007 e Pacheco *et al.*, 2008). Apesar de serem sistemas costeiros complexos e difíceis de modelar, as barras são de extrema importância como rotas de navegação, como fornecedores de sedimentos para as praias adjacentes, e como condutas que permitem a troca de nutrientes entre os sistemas internos e a zona costeira (FitzGerald, 1996 e Pacheco *et al.*, 2007).

A origem, a morfologia, a hidrodinâmica e a estabilidade das barras de maré são altamente variáveis, devido a uma grande variedade de configurações físicas resultantes fundamentalmente da ação das ondas e marés, fornecimento de sedimentos, origem dos sistemas lagunares, geologia do fundo rochoso, variação temporal do nível médio do mar, ocorrência de tempestades e fatores antrópicos (FitzGerald, 1996 e Pacheco, 2010). As barras, particularmente quando não estão fixadas por molhes, têm a capacidade de acumular grandes quantidades de areia em consequência da forte interferência gerada por correntes de maré sobre a deriva litoral (Fontolan *et al.*, 2007). Nestes sítios (barras) ocorrem grandes modificações no sistema de transporte de areia, onde são constituídos paredões e os canais são mantidos através de dragagens (Kraus & Rosati, 1998). Estas barras de maré também apresentam uma grande importância a nível da navegação, do transporte de sedimentos para praias adjacentes e da troca de nutrientes entre os sistemas lagunares e as zonas costeiras (Pacheco *et al.*, 2011). Estas barras de maré encontram-se associadas a costas de deriva litoral, em que o transporte de sedimentos *longshore* é significativo, e com sistemas costeiros com fluxo de água doce pequeno ou inexistente. As barras ocorrem principalmente em costas

mesotidais, que tem a energia de onda média e estas apresentam em todo o mundo uma grande diversidade de condições hidráulicas e morfológicas (Salles *et al.*, 2005).

Salles *et al.* (2005) afirmam que os sistemas costeiros de barras múltiplas não devem ser abordados em termos de estabilidade de cada barra, mas sim com base na sua persistência ao longo do tempo. Perante esta afirmação, Salles *et al.* (2005) e Pacheco (2010) salientam que a existência e persistência de várias barras de maré em sistemas costeiros é fundamental para a compreensão de questões como a capacidade de descarga, navegabilidade e da estabilidade da praia/barreira uma vez que estas dependem de fatores não encontrados numa única barra do sistema. Considera-se então que uma barra se encontra estável quando a embocadura também está estável, ou seja, não migra, e que possua um canal de vazante ao longo do delta de vazante. A estabilidade da barra normalmente encontra-se relacionada ao facto do canal estar fixo em substrato resistente à erosão (FitzGerald *et al.*, 2000).

Os sistemas de múltiplas barras de maré, como é o caso da Ria Formosa, são sub-sistemas hidrodinamicamente conectados e portanto, uma mudança morfológica numa determinada barra poderia modificar o comportamento hidrodinâmico das restantes barras e de outros canais adjacentes. Isto inclui alterações no prisma de maré, geração de descarga residual e alteração do sinal de distorção não-linear das marés (Salles, 2001, Salles *et al.*, 2005 e Pacheco, 2010). Porque o prisma de maré é a quantidade de água que flui através da secção transversal, mudanças no prisma de maré induz alterações no transporte de sedimentos na barra, afetando, assim, o equilíbrio na secção transversal deste canal, causando uma instabilidade na barra (Pacheco *et al.*, 2010).

Relativamente as barras de maré, deve-se salientar que existem dois tipos de estabilidade: local e a geométrica. Para barras estabilizadas com dois molhes (como é o caso da barra de Faro-Olhão e a barra de Tavira), não ocorre migração e assim existe estabilidade local. Contudo, uma barra estabilizada pode ter instabilidade geométrica caso ocorram alterações na sua área transversal, tamanho e forma. Estas alterações geométricas são, em geral, uma função de alterações nos parâmetros

hidráulicos do canal tais como no prisma de maré, no volume de água trocada entre o estuário e o mar aberto durante o período da maré (Pacheco *et al.*, 2008).

3.2. Ria Formosa

A Ria Formosa pode ser definida como um sistema lagunar localizado a Sul de Portugal (Algarve). Este sistema define uma grande zona intermareal, com cerca de 55 km de comprimento (E-O), e no seu ponto mais largo apresenta cerca de 6 km (N-S) (Newton & Mudge, 2003). Apresenta-se distribuído por diversos concelhos como Faro, Olhão, Loulé, São Brás de Alportel, Castro Marim, Tavira e Vila Real de Santo António. Este também é um sistema de múltiplas barras que é composto por cinco ilhas-barreira (de Oeste para Este: Ilha da Barreta ou Deserta, Ilha da Culatra, Ilha da Armona, Ilha de Tavira e Ilha de Cabanas) e duas penínsulas (Península do Ancão e Península de Cacela). As ilhas e as penínsulas são separadas por seis canais de maré, também chamadas de barras (Mendonça, 2001). Existem duas barras artificiais (Barra do Ancão e barra da Fuzeta), duas barras abertas artificialmente e estabilizadas (Faro-Olhão e Tavira) e duas barras naturais (barra da Armona e barra do Lacém) (Andrade, 1990, Pacheco *et al.*, 2007, Pacheco *et al.*, 2008 e Pacheco *et al.*, 2010). No seu interior formado por um complexo padrão de planícies de maré, sapais e sub-canais, ocupando uma área de $8,40 \times 10^7 \text{ m}^2$ (Pacheco *et al.*, 2007)

A Ria Formosa apresenta extensas zonas de sapal, canais de maré, rasos de maré e praias de laguna, ocupando cerca de 50% da área total, e na sua maioria é constituído por areia, planícies silto-arenosas e sapais (Rodrigues *et al.*, 2005 e Abreu & Machado, 2000). As zonas de sapal ocupam a parte superior do domínio intermareal e caracterizam-se pelas condições hidrodinâmicas de baixa energia, sendo colonizado principalmente por espécies de vegetação halófitas, cuja sua presença depende da natureza do substrato e do tempo de submersão. Estas zonas apresentam morfologias muito diversas sendo a sua superfície essencialmente composta por sedimentos de natureza vasosa (Abreu & Machado, 2000). Relativamente aos canais de maré pode-se dizer que permitem a circulação da água por toda a zona lagunar e apresentam fundos geralmente planos e com profundidades variáveis. Dos sedimentos dos canais de maré pode-se salientar que

são geralmente arenosos tendo muitas vezes uma importante componente bioclástica (Abreu & Machado, 2000). As ligações entre os sapais e os canais de maré são estabelecidas pelas planícies intermareais, apresentando fundos de forma plana ou ligeiramente ondulada onde não se verifica a existência de vegetação halófitas. Os sedimentos destas zonas são uma mistura das outras duas (sapais e canais de maré), ou seja, são essencialmente areno-vasosos, apresentando por vezes sedimentos cascalhentos. Por fim, as praias de laguna encontram-se nas zonas interiores dos sapais e rasos de maré, apresentando sedimentos arenosos ou areia vasosa. Nestes sítios existe acumulação de sedimento trazido pelas correntes de enchente (Abreu & Machado, 2000).

Fazendo uma análise da evolução histórica e recente datada do século XIV observa-se que, embora o sistema tenha respondido historicamente a perturbações naturais e artificiais, com mudanças significativas na morfologia geral, esta manteve sempre entre quatro a sete barras (Salles, 2001 e Pacheco *et al.*, 2010). Uma recente mudança para o sistema resultou na abertura da barra de Faro-Olhão, que capturou o grande prisma de maré da barra da Armona, que anteriormente era a barra natural dominante no sistema (Pacheco *et al.*, 2010).

Várias atividades económicas ocorrem neste sistema lagunar como, por exemplo, a aquacultura, a agricultura, a extração de sal, a pesca, a cultura de moluscos, o transporte, a mineração e o turismo. Estas atividades têm importância local e regional, e a cultura de marisco também assume uma importância nacional, uma vez que representa cerca de 60% da produção total de Portugal. Também é de salientar que a Ria Formosa tornou-se o berçário para várias espécies diferentes. A congregação de diferentes atividades faz com que a gestão da Ria Formosa seja uma tarefa muito difícil para a região decisora. Algumas das principais atividades económicas deste sistema são altamente conflitantes como, é o caso da extração de areia e da cultura do marisco (Pacheco *et al.*, 2007).

Este trabalho teve como objetivo a caracterização dos ambientes intermareais nos deltas de enchente nas barras da Ria Formosa com a aplicação de SIGs, recorrendo à análise de dados geomorfológicos, sedimentares e hidrodinâmicos obtidos nos ambientes referidos anteriormente. Para este estudo foram realizados levantamentos batimétricos dos vários deltas de enchente da Ria,

aplicados MDTs, foi feita a cartografia e caracterização das estruturas sedimentares e foi quantificado as áreas e os volumes de água que estavam associados a estes ambientes. Com tudo o que foi dito anteriormente, pode-se constatar que este trabalho teve uma grande contribuição para o conhecimento da hidrodinâmica e a sua relação com os ambientes sedimentares, intermareais associados às barras de maré, ao correlacionar informações multidisciplinares na base obtida no campo, recorrendo às potencialidades das ferramentas de SIG.

3.2.1. Barra do Ancão ou barra de São Luís

A Barra do Ancão ou Encão define-se como uma abertura do cordão dunar a barlavento do Cabo de Santa Maria. Neste troço da costa que vai até ao Cabo de Santa Maria, existe uma grande acumulação de areias que se encontra, por certo, relacionada com o regime da costa e a orientação particular deste troço da costa. A este regime de deposição deve-se as más condições da Barra do Ancão e o completo encerramento, depois de ser abertura a barra (Esaguy, 1986). Por outro lado, Vila-Concejo *et al.*, (1999) salientam que a presente barra é uma barra que tende a migrar pouco, apresentando uma largura média de cerca de 300 m.

Segundo Adolfo Loureiro (1909) *in* Esaguy (1986), esta barra só seria praticável na altura de preia-mar a embarcações de pequeno porte, dando acesso ao fundeadouro das “Quatro-Águas”, através de um pequeno canal. Nesta altura (1909) existiam mais duas barras neste troço do cordão dunar, a Barra do Bispo aberta em 1861 que rompia a Ilha da Barreta um pouco para Nascente e a Barra Nova de Faro-Olhão, que se abria em seguida à ilha com largura apreciável.

No ano de 1923 foi registada uma barra no mesmo local de 1893 e uma outra a cerca de 4,5 km para Nascente. Esta última seria de facto a única existente em 1923, traduzindo-se que em cerca de 50 anos (1870 a 1923) a barra se terá deslocado para Nascente, até atingir a posição assinalada em 1923. Perante o que foi mencionado anteriormente, pode salientar-se que esta barra sofre uma migração cíclica para Este (Esaguy, 1986 e Pacheco, *et al.*, 2007).

Após a análise da fotografia aérea da Ria de Faro feita pelo Esaguy (1986) foram observados bancos de areia (meias luas) no interior da ria, que segundo ele

devem indicar que nesses locais existia de uma abertura do cordão litoral. Com a abertura da barra artificial de Faro-Olhão, feita nos anos 20, local onde existia a Barra do Bispo, veio a resultar um engrossamento da Ilha da Barreta e deslocamento da proeminência emersa e submersa do cabo no sentido de Nascente.

O cordão dunar que limita por Sul a Ria Formosa, a Oeste do Cabo de Santa Maria foi caracterizado, segundo Esaguy (1986), por uma relativa estabilidade da sua única abertura. Segundo conclusões deste autor (Esaguy, 1986), esta barra abriu a Oeste, no extremo Poente do cordão dunar e foi caminhando para Nascente até atingir a zona vizinha do cabo. O processo torna-se mais difícil e a barra que até este momento apresentou uma única abertura estreita e fundo estável, tende a colmatar, abrindo assim uma nova barra a Poente.

Para concluir, a barra do Ancão ocupou em 1978 a sua posição mais a Poente no período 1950-1985, situando-se a cerca de 630 m a Oeste, relativamente ao ano de 1965. Nos anos posteriores (1979, 1982 e 1985) as aberturas da barra foram-se situando cada vez mais para Nascente deslocando-se a um ritmo médio de 80 m/ano. No final no ano de 1985 a barra atingiu uma posição próxima daquela que ocupava em 1965 (Esaguy, 1986).

Também como conclusão do estudo desta barra e para reforçar o que foi mencionado no parágrafo anterior, Vila-Concejo *et al.* (2002) e Pacheco *et al.* (2007) analisaram o desenvolvimento histórico na Península da Barra do Ancão a partir de 1947 até 1996 e descobriram que esta mesma barra foi submetida a dois ciclos de migração para Este durante este período. As tendências que esta barra apresentou para Este foram muito semelhantes para os dois ciclos, com a barra a mostrar numa fase inicial um reajuste (caracterizada por taxas de migração baixa), seguindo-se de um estágio de taxas de migração altas para Este, até chegar a uma posição limite, apresentando a barra uma área de secção transversal estável. Este padrão de migração foi distinguido por Vila-Concejo *et al.*, (2002 e 2004) e Pacheco *et al.*, 2010 como um padrão de alta energia. Parece plausível que, mesmo que a migração para Oeste não ocorra, os eventos extremos de E-SE podem ser responsáveis por episódios de deriva inversa (de Este para Oeste), atenuando as altas taxas de migração para Este (Pacheco *et al.*, 2010).

3.2.2. Barra de Faro-Olhão

Nos anos vinte, foi concebida a abertura de um canal que permitisse a navegação e estabeleceu-se a ligação entre a ria e o mar, dando acesso às cidades de Faro e Olhão, em qualquer estado da maré (Esaguy, 1986 e Pacheco *et al.*, 2007). Para se proceder a esta abertura, a barra foi objeto de dragagens mais ou menos vultosas, permitindo assim a abertura de canais, fixação da barra e melhoramento inerentes a este tipo de obras (Esaguy, 1986 e Pacheco *et al.*, 2008). A zona escolhida situava-se a cerca de 2 km a Nascente do cabo de Santa Maria, próximo do Farol (antiga Barra do Bispo). A Barra do Bispo resumia-se uma abertura sinuosa de dimensões reduzidas, que não apresentava fundos que permitissem navegar, mesmo a partir da meia-maré (Esaguy, 1986).

Entre 1929 e 1955 foi procedida a abertura artificial desta barra bem como a sua estabilização através de dois molhes, molhe Este e molhe Oeste, distanciados entre si de 180 m (Esaguy, 1986 e Pacheco *et al.*, 2007). Para a abertura deste canal foram dragados cerca de 10^6 m³, na plataforma exterior cerca de $1,5 \times 10^6$ m³. É de salientar que, entre o início de 1934 até 1947, os trabalhos estiveram interrompidos (Esaguy, 1986).

Esta barra foi classificada como a entrada principal deste sistema lagunar, visto reter 60% do prisma de maré (Pacheco *et al.*, 2007 e Pacheco *et al.*, 2008). Devido a esta abertura foram feitos vários estudos onde se pode destacar o de Vila-Concejo *et al.* (2002), Salles (2001) e Garcia *et al.*, (2002), por exemplo. Segundo Vila-Concejo *et al.* (2002) a abertura desta barra não causou grandes efeitos a longo prazo sobre as barras circundantes, que são a Barra do Ancão e a Barra da Armona. Já Salles (2001) salienta que houve uma redução na acumulação de sedimentos, tornando as barreiras mais vulneráveis à erosão e diminuindo o fornecimento de sedimentos para as barras que se encontravam mais a Este. Garcia *et al.*, (2002) já mostraram que houve um aumento no padrão de erosão imediatamente após a construção dos molhes, levando à possibilidade de que a abertura desta barra possa ter sido responsável pelo aumento observado no índice de migração na metade Oeste da Ilha da Culatra. Posteriormente, Esaguy (1986) analisou a distância entre os molhes e argumentou que era uma distância muito estreita. Como consequência, as correntes de vazante foram intensificadas, o que

pode causar a erosão do canal até atingir profundidades de cerca de 40 m (Andrade, 1990, Pacheco *et al.*, 2007, Pacheco *et al.*, 2008). Também se verificou que a configuração dos molhes restringiu o fluxo do canal da barra para fluir adjacente à margem oriental (Esaguy, 1986, Pacheco *et al.*, 2006, 2007), criando assim um meandro, que se torna um problema para a navegação. As correntes perto da barra podem atingir valores médios de 2,2 m/s na vazante e de 1,6 m/s na enchente (Salles, 2001, Pacheco *et al.*, 2007 e Pacheco *et al.*, 2008). As correntes de deriva litoral nesta área ocorrem normalmente a partir de Oeste para Este (Pacheco *et al.*, 2008).

Pacheco *et al.*, (2007) afirmaram que a abertura e a estabilização da barra foram responsáveis pelas mudanças verificadas nas duas barras (Barra do Ancão e Barra da Armona) do flanco Oeste deste sistema, especialmente na barra da Armona que tem vindo a perder o prisma de maré.

Esta barra estabilizada tem uma dominância da maré de enchente (Pacheco *et al.*, 2008).

Segundo Pacheco *et al.*, (2008), a Barra de Faro-Olhão parece estar a atingir um equilíbrio dinâmico. Em cerca de 50 anos após a sua abertura, esta barra atingiu um equilíbrio no que se refere aos parâmetros de barra principal, mas só depois de 70 anos desde a sua abertura é que se atinge o equilíbrio, em termos de linha de costa adjacente.

3.2.3. Barra da Armona

A Barra da Armona encontra-se limitada pelo extremo nascente da Ilha da Culatra e o extremo poente da Ilha da Armona (praia da Armona) e tem evoluído de forma muito sensível ao longo dos anos (Esaguy, 1984). Nos anos vinte, esta barra apresentava características que permitiam a navegabilidade, navegando através de dois canais, a Barra Nova situada a Poente e a Barra Grande já a Nascente, canais separados pelo denominado Cabeço dos Mortos (Esaguy, 1986). Nos anos de 1930 e 1977 Esaguy (1984) verificou uma diminuição nesta barra de cerca de 1500 m, facto que se deve relacionar com a abertura da Barra de Faro-Olhão nos anos 20 e com o prolongamento dos molhes Este e Oeste nos anos 50. Esta diminuição da

barra deve-se ao avanço progressivo do extremo da Ilha da Culatra, que faz com que a Barra da Armona possa atingir dimensões que propiciem o aprofundamento do canal que corre junto à margem da mesma ilha (Ilha da Armona), intensificando-se a erosão desta com o deslocamento do canal para Nascente, não conseguindo assim proteger o aglomerado populacional.

Fazendo um resumo, a Barra da Armona sofreu reduções sensíveis no decurso dos anos, apresentando em 110 anos (período de 1873 a 1983) uma redução da ordem dos 2500m, passando a largura da barra de 4300 a 1850 m, valores que representam respetivamente os anos de 1873 e 1983. Com estes dados Esaguy (1984) concluiu que a barra tinha sofrido uma redução média na sua largura na ordem dos 20 m/ano no período antes referido (1873-1983) e uma redução máxima entre 1950 e 1977. Essa redução foi de 50 m/ano e pensa-se que este valor esteja relacionado com a intervenção humana na Barra de Faro-Olhão.

Entre os anos de 1930 e 1977 constatou-se que os canais que sulcam os bancos arenosos como o “Cabeço dos Mortos” se caracterizam por uma grande instabilidade, havendo por vezes maior incidência junto do extremo Nascente da Ilha da Culatra e outra vezes junto ao extremo Poente da Ilha da Armona. Passado esse período, verificou-se uma tendência para a ligação do troço interior do canal da barra que corre junto à Ilha da Culatra (Barra Nova) com o canal da barra que corre junto à Barra da Armona ou Barra Grande, notando-se simultaneamente o gradual desaparecimento do troço terminal do canal da Barra Nova e a sua ligação com os fundos exteriores. Já em 1977, o canal da Barra Nova e o canal da Armona apresentavam características bem diferenciadas, ou seja, verificou-se o desaparecimento gradual da ligação com os fundos exteriores do canal da Barra Nova e a ligação cada vez mais pronunciada do troço interior daquele canal com o canal da Armona (Esaguy, 1984). Este mesmo autor (Esaguy, 1984) confirmou que o canal da Barra da Armona reunia a curto prazo condições que iriam facilitar a erosão na zona adjacente à margem da Armona, podem em perigo a estabilidade da zona habitacional.

3.2.4. Barra da Fuzeta

Esta presente barra, Barra da Fuzeta, localiza-se no cordão litoral arenoso a nascente do cabo de Santa Maria, no trecho da costa compreendido entre a povoação da Fuzeta e o Arraial do Livramento, na Ilha de Tavira. Esta barra apresenta uma tendência de se deslocar no sentido Poente-Nascente, numa frente com uma extensão da ordem dos 3 km, sendo a posição mais a Poente (1944), a Oeste da povoação adjacente à barra e a posição mais a Nascente (1984) a Este do Arraial do Livramento. Essa tendência também se verificou no ano de 1950 visto que a barra se situava a poente da povoação e encontrava-se a distanciar cada vez mais desta, dificultando assim o acesso à Fuzeta (Esaguy, 1985).

Esaguy (1985) fez um estudo sobre a evolução desta barra entre o período de 1944-1984. Deste estudo pode-se salientar que:

- Em 1944, a barra se localizava, como já foi dito, na sua posição mais a Poente, situação que foi antecedida por um ciclone, registado em 1941. Neste mesmo ano constata-se a existência de dois canais, um mais a poente que corre junto à Armona e outro que corre junto à Ilha de Tavira;

- Fazendo uma comparação entre 1944 e 1955, constatou-se que este cordão litoral apresentava duas aberturas, que definem respetivamente, uma barra mais a Poente sensivelmente a 150 m da existente em 1944 e outra mais a Nascente bastante distanciada da primeira, localizando-se ambas a Nascente da posição de 1944. Essa barra mais a Poente tinha uma abertura de cerca de 500 m;

- Comparando as situações de 1955 com 1962, verificou-se um notório assoreamento do canal interior, na zona que se situa entre o cordão litoral e a povoação. A fisiografia da zona também sofreu alterações profundas, tendo o mar erodido a Ilha de Tavira. É de salientar que no ano de 1962 se conjugaram os efeitos de um temporal e a evolução natural da barra no seu avanço para Nascente. Este movimento migratório foi acompanhado pela reconstituição do cordão litoral a Poente das sucessivas posições da barra;

- Em 1976 pode-se dizer que foi praticamente reconstituído o cordão litoral da Ilha da Armona, situando-se a abertura da barra a cerca de 2500 m para Nascente a posição em 1944 e a 1600 m da posição de 1962. As condições de acesso ao mar pioraram, atingindo a barra uma largura de 400 m;

- No ano de 1982 verificou-se que a barra se continuava a deslocar para nascente, distanciando-se cerca de 2800 m da posição de 1944;
- Em 1984 concluiu-se que a barra em 8 anos (1976-1984) deslocou-se cerca de 400 m, ou seja, deslocou-se a um ritmo de 50 m/ano. Também se verificou que o cordão dunar Armona-Tavira, numa extensão de cerca de 3 km não alterou de forma significativa a sua fisiografia, mantendo assim a mesma orientação SO-NE com ligeira inflexão para norte do extremo nascente da ilha da Armona. Neste ano a barra atingiu a sua posição mais a nascente, a cerca de 2900 m da de 1944, traduzindo assim um avanço médio de 72 m³/ano no período de 1944 a 1984 (40 anos).

3.2.5. Barra de Tavira

Como foi dito para a Barra de Faro-Olhão, esta barra também sofrer de uma abertura por via artificial, com objetivo de se abrir canais, fixação da barra e melhoramento inerentes a este tipo de obras (Esaguy, 1987). Segundo Esaguy (1987), Tavira antigamente era uma das cidades mais importantes do Algarve, pois dispunha de um porto que admitia navios de alto bordo que podiam lá parar com comodidade e segurança. Esta cidade também disponha de diversos recurso, mas que com o passar dos anos essa indústria viria a diminuir de forma gradual, considerando já os anos de 1790 como a fase de declínio. Ao movimento comercial que ainda subsistia, com o passar do tempo veio a ressentir-se do estado da barra, que chegou a não atingir os 2 metros de água na baixa-mar.

A barra, que em 1648 se encontrava mesmo frente à foz do rio Gilão, foi-se deslocando para Este, até atingir no princípio do século XX as proximidades de Cacela, dando só passagem a pequenas lanchas. Perante a instabilidade desta barra, o canal interior da ria, entre a Fuzeta e Cacela, que era conhecido como o rio Sabroso (rio de água salgada sujeito a marés, depois rio Largo e no presente, canal de Tavira, que apresentava uma extensão de cerca de 18 km, sendo navegável em quase todo o seu percurso) começou a entrar em assoreamento. Esta presente barra que se situava durante algum tempo frente do forte da Conceição, voltou a deslocar-se para Nascente até próximo de Cacela nos princípios do século XX (Esaguy, 1987).

Em 1927, foi concluída a dragagem para a abertura da barra, havendo assoreamentos, tanto no canal, como no ancoradouro interior. Após o ciclone de 1941 houve um acelerar do processo de assoreamento da barra artificial. Já em 1944 foi feito um levantamento, onde se pode observar a existência de duas barras, a barra artificial e a barra de leste, distanciadas entre si de 1100 m, desaparecendo na totalidade uma língua de areia que existia entre elas (Esaguy, 1987).

É compreensível que se mantenha esta presenta barra aberta, recorrendo a dragagens, pois este local serve de ponto de passagem entre o mar e a ria, dando serventia à classe piscatória desta região de Tavira. Para isso tem de existir condições de segurança para os seus utentes. Em consequência destes trabalhos, houve a abertura do canal de navegação numa extensão de mais de 1,5 km, desde a barra até ao interior do porto - Quatro Águas (Esaguy, 1987).

3.2.6. Barra do Lacém

A história recente desta barra encontra-se relacionada com a abertura e persistência da barra de Tavira. A barra do Lacém abriu durante uma tempestade em 1942, migrando para Este seguindo um padrão irregular de movimentação até à sua posição atual. Após a fixação da ilha de Cacela ocorreu a formação de várias barras numa vasta área durante as tempestades, uma vez que a duna frontal em Cabanas era facilmente erodida e quebrada (Salles, 2001). Este processo diminuiu a profundidade da ria atrás da península, que poderá eventualmente fechar e reduzir a largura da ilha barreira ao deslocar-se para Oeste (Pilkey *et al.*, 1989 e Salles, 2001).

Relativamente as barras enumeradas acima torna-se necessário salientar que:

- A abertura e a estabilização da barra de Faro-Olhão foram as principais responsáveis pelas mudanças verificadas nas outras duas barras (barras do Ancão e da Armona) do flanco Oeste deste sistema lagunar em estudo, especialmente na barra da Armona que tem vindo a perder o prisma de maré (Pacheco *et al.*, 2008);
- A barra da Armona tem vindo a ficar mais estreita, enquanto a barra do Ancão é uma barra de migração estável, não evidenciando uma

tendência de mudança relativamente ao prisma de maré e/ou área da secção transversal depois da deslocação (Pacheco *et al.*, 2008);

- A barra de Faro-Olhão é responsável por 60% do prisma de maré enquanto as barras do flanco ocidental, como é o caso da barra da Armona e do Ancão, contribuem 31% e 9% respetivamente (Pacheco *et al.*, 2008);

- Durante as marés-vivas:

- As barras do Ancão e da Armona são dominadas pela vazante. O fluxo médio é maior do que a velocidade média de enchente através do ciclo de marés, apresentando um fluxo maior e de curta duração (Pacheco *et al.*, 2008);

- Do ponto de vista convencional sobre as velocidades de fluxo e a duração da enchente/vazante, as barras do Ancão, Faro-Olhão e Armona são barras que dominam a vazante. Analisando as diferenças no prisma de enchente/vazante (isto é, o fluxo residual), estas barras revelam uma forte interligação hidrodinâmica, sendo o fluxo residual da barra de Faro-Olhão dirigido para as barras do Ancão e da Armona, onde domina a vazante. Assim, as três barras podem ser consideradas como um sub-sistema hidrodinâmico, em que o excesso de prisma de enchente da barra de Faro-Olhão reflui para as barras do Ancão e da Armona. Esta evidência indica que a barra de Faro-Olhão, embora apresente uma velocidade de fluxo superior e duração de fluxo mais curto, desenvolve um prisma consideravelmente mais baixo durante a vazante, como é, portanto, dominado pela enchente (Pacheco *et al.*, 2008);

- As barras da Fuzeta e de Tavira parecem apresentar alguma ligação nas marés-vivas, sendo a barra da Fuzeta dominada pela enchente, e a barra de Tavira sendo marginalmente dominada de vazante. O fluxo residual entre barras explica porque uma velocidade média maior na vazante se encontra associada a uma maior duração da vazante, onde o excesso de fluxo dominante de enchente da barra da Fuzeta sai através da vazante na barra de Tavira (Pacheco *et al.*, 2008);

- A barra do Lacém é a barra mais pequena deste sistema lagunar, com uma secção transversal rasa (cerca de 140 m² e uma profundidade máxima de 1,5 m). Esta barra não apresenta um domínio claro (Pacheco *et al.*, 2008);

- Durante as marés-mortas:

- As barras parecem funcionar de forma mais independente durante as marés-mortas do que durante as marés-vivas (Pacheco *et al.*, 2008);

- A barra do Ancão apresenta um prisma ligeiramente maior na enchente (Pacheco *et al.*, 2008);

- A barra de Faro-Olhão tem um prisma de enchente/vazante igual com um fluxo residual inferior (Pacheco *et al.*, 2008);

- Na barra da Armona a duração do prisma de vazante é mais longo que a de enchente (Pacheco *et al.*, 2008);

- A barra da Fuzeta apresenta velocidades médias de enchente/vazante iguais e uma duração de enchente maior. No entanto, o prisma de enchente é maior que o refluxo, com um fluxo residual nas barras da Fuzeta e Tavira. A barra de Tavira apresenta um comportamento inverso complementar ao da barra da Fuzeta: as velocidades de enchente / vazante são as mesmas. Assim verifica-se que as barras da Fuzeta e de Tavira apresentam comportamentos interligados, mostrando um padrão de circulação complementares (Pacheco *et al.*, 2008);

- A barra do Lacém em marés mortas apresenta uma duração mais curta na vazante. A barra do Lacém tem também um prisma maior na enchente, o que indica a existência de alguma circulação entre a barra do Lacém e a barra de Tavira (Pacheco *et al.*, 2008).

3.3. Ambientes de agitação

O sistema lagunar em estudo apresenta uma maré semidiurna, com alturas médias de 2,8 m em marés-vivas e 1,3 m em marés-mortas. No entanto, a altura

máxima pode atingir cerca de 3,5 m (Pacheco *et al.*, 2007, Pacheco *et al.*, 2008 e Pacheco *et al.*, 2010). As ondas são predominantemente de O-SO (aproximadamente 70% do tempo), enquanto as ondas de provenientes de SE-E apenas se verificam 24% das observações (Costa *et al.*, 2001, Pacheco *et al.*, 2007 e Pacheco *et al.*, 2008). O clima de ondas na região da Ria Formosa caracteriza-se como sendo de moderado a alto (altura média da onda anual no mar é de 1 m e o período de pico de 8,2 s (Costa *et al.*, 2001 e Pacheco *et al.*, 2010). Segundo Andrade (1990), a deriva litoral é de O para E com volumes de sedimentos que variam de $9,0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{ano}$ a $2,0 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{ano}$ (Bettencourt, 1994).

A forma do sistema lagunar leva a diferenças na exposição à ação das ondas, sendo o flanco Oeste deste sistema caracterizado como o mais energético, pois encontra-se sob a influência direta das ondas dominantes de SO, enquanto o flanco Este só se encontra diretamente exposto em condições de SE (Andrade 1990, Pacheco, *et al.*, 2007 e Pacheco *et al.*, 2010).

O estudo da hidrodinâmica do sistema de múltiplas barras da Ria Formosa feito por Pacheco *et al.*, (2008) mostra que o conjunto das barras do Ancão, Faro-Olhão e Armona captam 90% do prisma total. Durante as marés-vivas, as barras de Faro-Olhão, Armona e Ancão contam com 61%, 23% e 8% do fluxo total, respetivamente. Durante as marés-mortas, as barras de Faro-Olhão e da Armona compartilham igualmente o prisma de maré (45% e 40%, respetivamente) com a barra do Ancão a ter uma reduzida importância. As barras da Fuzeta, Tavira e Lacém juntas apenas transmitem 10% do prisma total da Ria Formosa durante as marés vivas e mortas (Pacheco, *et al.*, 2008).

3.4. Morfodinâmica estuarina

Sobre este ponto pode-se salientar que a RF tem uma morfodinâmica muito intensa, sendo função do clima de agitação marítima e das correntes de maré (Pilkey *et al.*, 1989 e Ceia, 2009). Segundo Dias (1988) as taxas de crescimento de algumas ilhas deste sistema lagunar são verdadeiramente notáveis, e por consequência desta dinâmica, o sistema pode-se classificar como muito vulnerável, apresentado uma forma rápida e intensa à construção de obras de engenharia litoral. Fazendo uma comparação das ilhas-

barreira deste sistema lagunar com uma grande parte dos sistemas mundiais deste tipo, pode-se salientar que estão numa ativa fase de migração em direção ao continente, e segundo Dias (1988), Pilkey *et al.* (1989) e Ceia (2009) muito provavelmente é uma resposta à elevação do nível médio do mar, sendo assim um sistema do tipo transgressivo. Segundo estes autores, os galgamentos oceânicos são extremamente importantes neste complexo processo.

As barras, de um modo geral, apresentam uma migração para nascente até atingirem uma posição limite, a partir da qual começam a sofrer assoreamento, abrindo-se assim uma nova barra, próximo do local inicial (Ceia, 2009). Nesta abordagem, há exceções que devem ser mencionadas. As exceções são: a barra da Armona que se tem mantido aproximadamente na mesma posição, bem como as barras de Faro-Olhão e de Tavira (Ceia, 2009), apresentando estas duas últimas intervenções humanas por introdução de molhes. A estabilidade da barra da Armona pode-se dever a um equilíbrio que se mantém entre a barra de Faro-Olhão com a barra de Tavira, visto estarem estáveis.

4. Métodos

4.1. Métodos de campo

4.1.1. Recolha de dados Batimétricos

Nos vários deltas de enchente da RF foram feitos levantamentos batimétricos. Os locais desses levantamentos foram: o delta de enchente da Barra de São Luís (DEBSL), o delta de enchente da Barra de Faro-Olhão (DEBFO), o delta de enchente da Barra da Armona (DEBA), o delta de enchente da Barra da Fuzeta (DEBF), o delta de enchente da Barra de Tavira (DEBT) e o delta de enchente da Barra do Lacém (DEBL). Os deltas de enchente e os ambientes intermareais envolventes foram identificados como correspondendo aos bancos sedimentares localizados na parte interior das barras e que resultou da acumulação de materiais detríticos transportados durante as fases de enchente, de acordo com a definição de Davis (1978).

Segundo Reineck & Singh (1973) os *ripples* são pequenas formas com uma suave inclinação no sentido da corrente, apresentando um declive mais acentuado no sentido contrário à corrente. Normalmente têm menos de 30 cm de comprimento, nunca excedendo os 60 cm de comprimento. Quando se formam inicialmente apresentam uma geometria paralela, com uma crista longa, mas de pequena amplitude (Department of the Army, 1995). As áreas intermareais planas com *ripples* observadas no campo, foram classificadas por planícies intermareais com *ripples* (PIR) e delimitadas pelo ROV (figura 4.1).



Figura 4.1: Planície Intermareal com *Ripples* que constitui um dos ambientes sedimentares adjacentes aos deltas de enchente da Ria Formosa.

As planícies intermareais planas (PIP) definiram-se como uma batimetria sem grandes elevações ou depressões (desprovidas de estruturas sedimentares do tipo *ripples* ou dunas) (Department of the Army, 1995). Algumas planícies apresentam estrias longitudinais (Reineck e Singh, 1973). Segundo Joping (1967) *in* Reineck e Singh (1973) algumas dessas estrias são formadas por partículas mais grosseira e outras por partículas mais finas. Estas áreas intermareais foram delimitadas com auxílio do ROV de acordo com a figura 4.2.



Figura 4.2: Planície intermareal plana (PIP) que constitui uma das estruturas sedimentares presentes nos diversos bancos de areia da Ria Formosa.

A delimitação do delta de enchente (DE) baseou-se nas áreas intermareais definidas por estruturas sedimentares de enchente, ou seja, com *ripples*, com dunas e mega-dunas de enchente. Podem igualmente apresentar marcas de erosão de enchente causadas por obstáculos (estacas, pedras, etc.), estrias no sedimento de enchente, bem como frentes de progradação de enchente. Estes ambientes podem também apresentar áreas com dunas de vazante, que por sua vez ainda preservam partes de dunas de enchente geradas na maré anterior (Department of the Army, 1995), como representado na figura 4.3.



A)



B)



C)

Figura 4.3: DEBSL. A) Dunas de enchente com comprimentos de onda de 1,5 m; B) Frente de progradação de enchente; C) Estrias de enchente.

A delimitação das áreas de sapal foram baseadas na identificação das plantas halofitas características dos ambientes de baixo sapal (áreas de *Spartina spp.*, *Juncus spp.*), médio sapal (áreas com *Salicornia spp.*, *Sacocornia spp.* e *Spartina spp.*) e alto sapal (*Arthrocnemum spp.*, *Atriplex spp.*), tendo sido identificadas neste trabalho como zonas de sapal (ICN, 2005).

Outros ambientes intermareais adjacentes ao deltas de enchente identificados, foram as áreas de ervas marinhas (ZN), afloramentos de camadas de vasa antiga (antigos sapais) identificados como VN. As primeiras corresponderam a retalhos de ervas marinhas (fundamentalmente representadas por *Zoostera noltii* e *Cymodocea nodosa* (ICN, 2005).

Para a realização dos levantamentos batimétricos nestes ambientes intermareais foram utilizados dois instrumentos a que demos o nome de ROV - TopoDune e o dispositivo manual de transporte do DGPS para a aquisição de dados, a que se deu o nome de Traquitana (figuras 4.4 e 4.5). O ROV serviu para fazer o levantamento em zonas secas, enquanto a “traquitana” foi utilizada em zonas submersas, até cerca de 70 cm de altura da coluna de água. Ambos os instrumentos têm acoplado um DGPS (Differential GPS ou GPS Diferencial) que foi constituído pelo controlador Trimble 5800 RTK, antena do DGPS e telemóvel que estabelece a ligação com o Instituto Geográfico Português (IGeo). A antena do DGPS no ROV apresentou uma altura relativamente ao solo de 0,2 metros enquanto na Traquitana esse valor foi de 1 metro. Os levantamentos foram efetuados no sistema de coordenadas *Datum* 73 Hayford Gauss IPCC. Neste trabalho consideraram-se cotas positivas acima do zero hidrográfico (ZH) e negativas abaixo deste.



Figura 4.4: Equipamento utilizado para fazer o levantamento dos ambientes intermareais em zonas secas ou com poucos centímetros de coluna de água (máximo 5 cm). Ao equipamento deu-se o nome de ROV - TopoDune.



Figura 4.5: Equipamento utilizado para fazer o levantamento dos ambientes intermareais em zonas com água. Ao equipamento deu-se o nome de Traquitana.

A recolha de coordenadas geográficas e de batimetria efetuadas por estes equipamentos foi feita com um intervalo de 10 em 10 cm (no caso de ambientes com *ripples* e dunas), de 15 em 15 cm (no caso dos ambientes com frentes de progradação e megadunas), de 50 em 50 cm (no caso das planícies intermareais planas). As trajetórias espaciais adotadas se proceder a estes levantamentos dependeram das formas de fundo. Nas PIP procurou-se seguir trajetórias retilíneas segundo uma quadrícula geométrica que apresentou um espaçamento na ordem dos 50 m. Nos ambientes com *ripples* e dunas, procurou-se seguir trajetórias perpendiculares às respetivas cristas, com espaçamentos entre elas na ordem dos 5 a 10 m. Nas frentes de progradação e megadunas as trajetórias adotadas foram perpendiculares a estas formas de fundo e também várias fiadas paralelas às cristas destas estruturas. As coordenadas geográficas e batimetrias recolhidas foram processados recorrendo a um SIG – plataforma ArcGIS® V.10.1. Os resultados foram projetados sobre ortofotomapas da Ria Formosa, datados de 2007.

Depois de todos os dados batimétricos recolhidos nos diferentes deltas fez-se o tratamento com o programa ArcGIS®. Para se proceder à colocação dos dados

em ArcGIS® foi necessário criar as *shapefiles*. Posteriormente, foram representados os trajetos feitos com o ROV e a Traquitana bem como criados os MDT, através da criação de TINs. Nestes modelos digitais de terreno podem-se observar as diferentes formas de fundo existentes nestes ambientes, como se vai verificar mais adiante. Também foram calculadas as áreas dos diferentes ambientes intermareais presentes no delta.

4.1.2. Medição das estruturas sedimentares de fundo

Ao longo dos ambientes intermareais em estudo foram medidas as estruturas sedimentares de fundo associadas. Nos ambientes com dunas e *ripples*, foram medidas as direções das respetivas cristas, bem como as direções e sentidos dos fluxos associados. Nos ambientes com estrias foram medidas as direções e sentidos dos fluxos associados. Nos ambientes de frente de progradação foram medidas as direções das cristas da frente de progradação e os respetivos fluxos. Nos ambientes de planície intermareal plana, com ervas marinhas, com ambientes de sapal, não foram feitas qualquer tipo de medidas de direções e sentidos de fluxos (figura 4.6). As direções das estruturas sedimentares e as direções e sentidos dos fluxos associados foram representadas graficamente sobre a forma de gráficos circulares, recorrendo ao programa Grapher4®. Estes diagramas foram posteriormente representados espacialmente sobre os respetivos ambientes intermareais resultantes do programa ArcGIS®.



Figura 4.6: Medição de estruturas sedimentares. Direção das cristas e medição e direção dos sentidos de fluxos.

5. Resultados e discussão

Para a apresentação dos dados e respetiva discussão, optou-se por estudar cada delta e ambientes intermareais envolventes, quer em cada campanha de campo desenvolvida, quer comparando diferentes campanhas realizados em períodos distintos, com a sobreposição de mapas. Seguidamente optou-se por fazer uma comparação espacial entre os diferentes ambientes em estudo.

Os levantamentos batimétricos realizados no âmbito deste trabalho na RF, foram feitos nas fases das baixas-marés das marés vivas, reportando a batimetria das partes correspondentes aos ambientes intermareais. Os setores dos deltas de enchente correspondentes aos ambientes submareais (abaixo do nível das marés), não foram objeto de estudo neste trabalho.

5.1. DEBSL e ambientes intermareais adjacentes

5.1.1. Levantamento de 8 a 11 de agosto de 2009

Na figura 5.7 encontram-se projetadas as trajetórias definidas pela traquitana no DEBSL e ambientes intermareais adjacentes, aquando o levantamento de 8 a 11 de agosto de 2009. Neste levantamento foram amostrados 65535 pontos georreferenciados e cotados, no sistema de coordenada *Datum 73 Hayford Gauss IPCC*, apresentando batimetrias compreendidas entre os -0,2 e os 2,8 mZH.

DEBSL e ambientes intermareais adjacentes. Levantamento de 8-11 de agosto de 2009

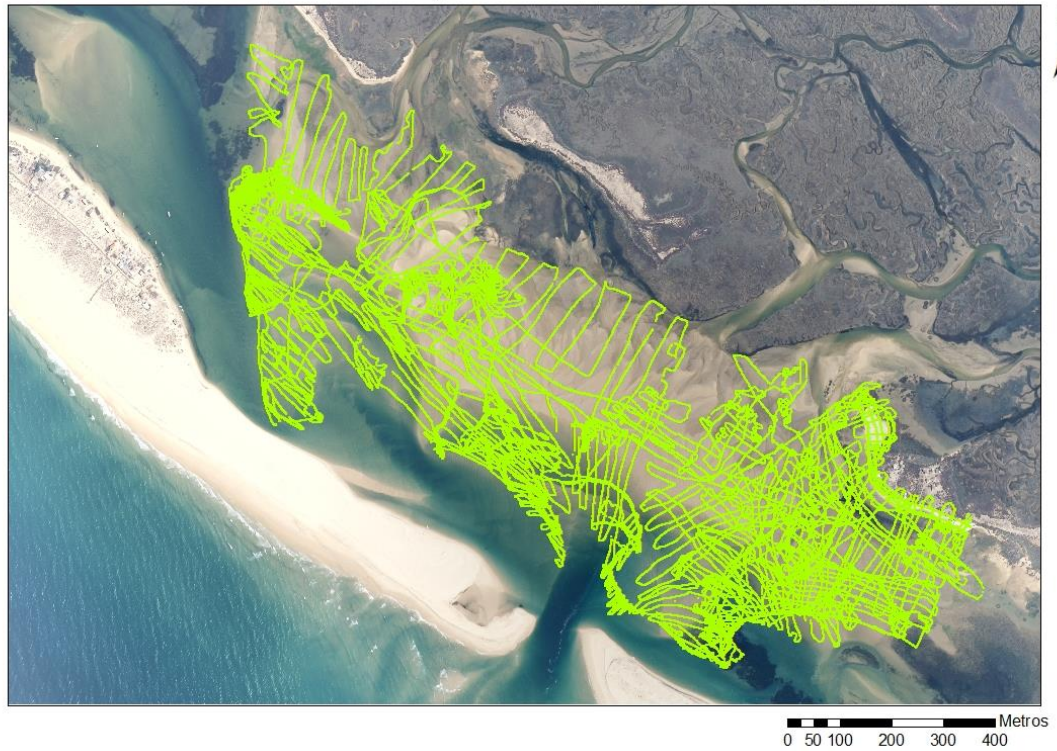


Figura 5.7: Levantamento batimétrico do delta de enchente da Barra de São Luís e ambientes intermareais adjacentes, efetuado de 8 a 10 de agosto de 2009. Representação das trajetórias realizadas pela traquitana. Sistema de coordenadas dos pontos: *Datum 73 Hayford Gauss IPCC*.

Nos ambientes amostrados, os intervalos batimétricos mais representativos (com mais de 50% de frequência relativa) encontraram-se compreendidos entre os 1,2 e os 2,5 mZH, de acordo com a figura 5.8.

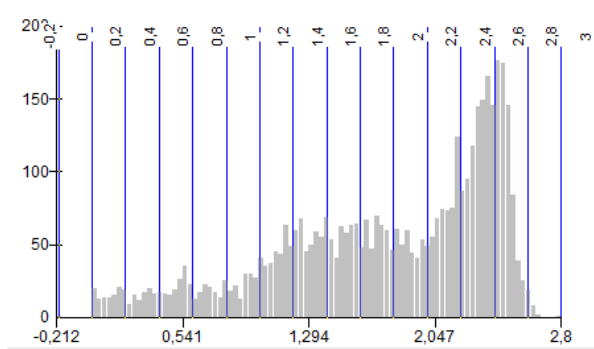


Figura 5.8: Intervalos de variação das batimetrias levantadas nos ambientes intermareais associados ao DEBSL, expressas em metros relativos ao zero hidrográfico (mZH).

Da análise da figura 5.9, onde se projetou o MDT resultante deste levantamento, pode-se constatar que:

- As batimetrias mais baixas, compreendidas entre os -0,2 e os 1,2 mZH localizaram-se no setor S e SO deste ambiente intermareal, enquanto as mais elevadas (compreendidas entre os 2 e os 2,8 mZH) localizaram-se nas áreas adjacentes ao sapal do Ilhote da Cobra (setor N e NO da figura 5.9).
- Nos ambientes compreendidos entre os 2 e os 2,8 mZH puderam ser definidas várias frentes de progradação, algumas das quais de enchente, outras com formas em leque, mostrando semelhanças morfológicas com os antigos deltas de enchente;
- As batimetrias compreendidas entre os 1,2 e os 2 mZH ocuparam principalmente as áreas centrais deste ambiente intermareal e no respetivo MDT, foi possível identificar macroformas de fundo com formas côncavas e em leque, com semelhanças morfológicas de antigos deltas de enchente.

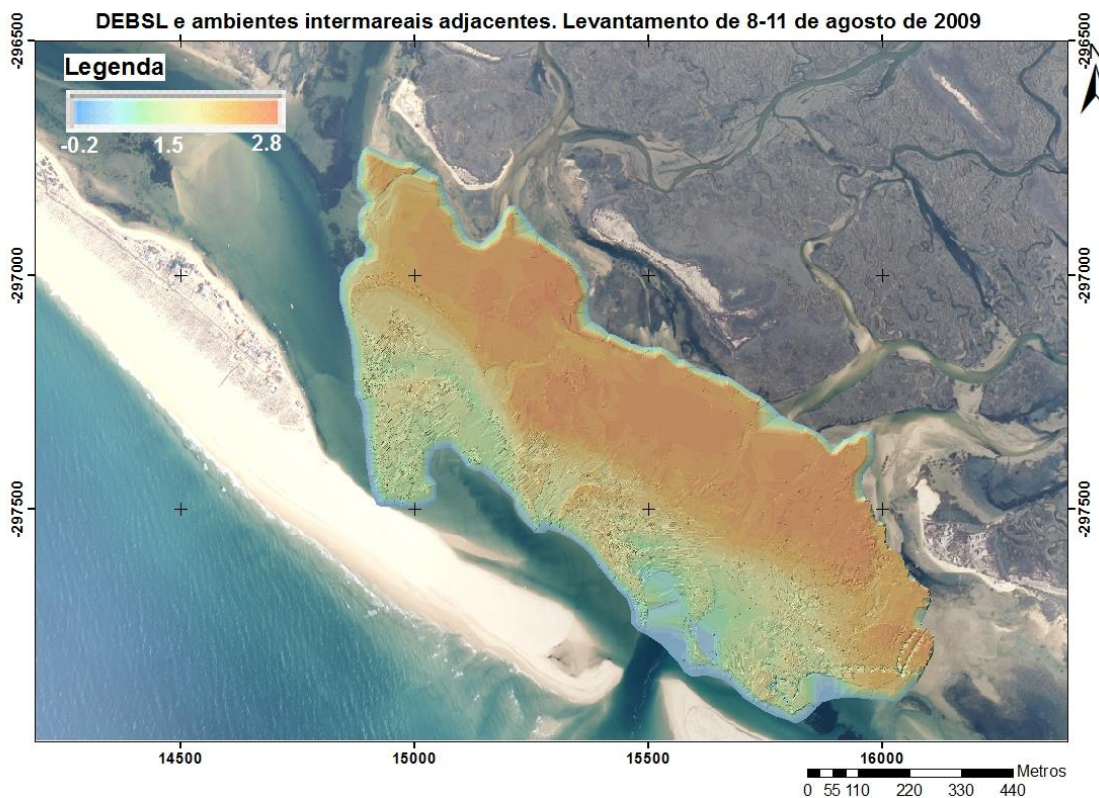


Figura 5.9: Modelo digital de terreno referente ao levantamento batimétrico do delta de enchente da Barra de São Luís e ambientes intermareais adjacentes, efetuado de 8 a 11 de agosto de 2009, no sistema UTM, *Datum* 73 Hayford Gauss-IPCC.

5.1.2. Levantamento batimétrico de novembro de 2011

Em novembro de 2011 foi feito um levantamento batimétrico do DEBSL e ambientes intermareais envolventes constituído com cerca de 80000 pontos georreferenciados e cotados, cujas localizações geográficas se encontram expressas na figura 5.10.

DEBSL e ambientes intermareais adjacentes. Levantamento de fevereiro de 2012



Figura 5.10: Levantamento batimétrico do delta de enchente da Barra de São Luís e ambientes intermareais adjacentes, efetuado em novembro de 2011. Representação das trajetórias realizadas pelo ROV - TopoDune e pela traquitana. Sistema de coordenadas dos pontos: *Datum* 73 Hayford Gauss IPCC.

A gama de valores amostrados neste levantamento batimétrico encontraram-se compreendidos entre os 0 e os 2,8 mZH, tendo os intervalos mais significativos (com mais de 50% de frequência relativa) estado compreendidos entre as cotas batimétricas dos 0,9 aos 1,9 mZH (figura 5.11).

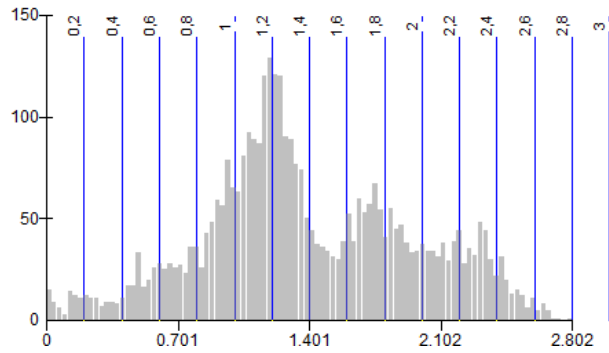


Figura 5.11: Intervalos de variação das batimetrias levantadas nos ambientes intermareais associados ao DEBSL, expressas em metros relativos ao zero hidrográfico (mZH).

Na figura 5.12 encontra-se expresso o MDT referente ao levantamento de novembro de 2011 no DEBSL podendo-se salientar que:

- As áreas intermareais compreendidas entre os 1,3 e os 2,7 mZH apresentaram uma distribuição espacial longitudinal assimétrica, localizando-se junto ao sapal do Ilhote da Cobra, no setor NO deste banco de areia, desviando-se para a parte oposta, junto ao canal principal, nos setores central e SE. Nestes ambientes puderam ser definidas várias frentes de progradação, algumas das quais de enchente, outras com formas em leque, mostrando semelhanças morfológicas com os antigos deltas de enchente;
- Os ambientes intermareais compreendidos entre os 0 e os 1,3 mZH apresentaram uma distribuição espacial oposta aos ambientes anteriores, localizando-se na parte externa junto ao canal principal no setor NO deste ambiente intermareal, desviando-se para a parte interna junto ao sapal do Ilhote da Cobra, nos setores central e SE. O MDT destes ambientes realça frentes de progradação com formas côncavas.

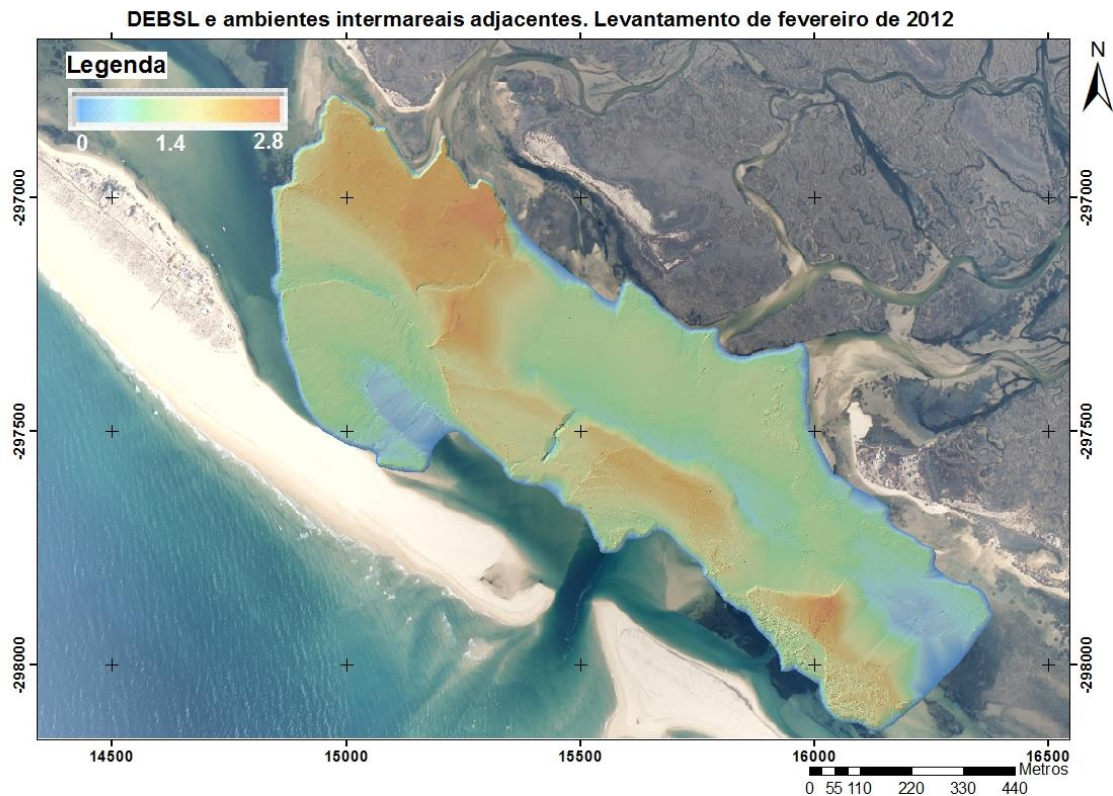


Figura 5.12: Modelo digital de terreno referente ao levantamento batimétrico do delta de enchente da Barra de São Luís e ambientes intermareais adjacentes, efetuado em fevereiro de 2012, no sistema UTM, *Datum* 73 Hayford Gauss-IPCC.

Os sedimentos superficiais destes ambientes intermareais, de acordo com Pastor (2012), corresponderam a areais grosseiras, unimodais, mal calibradas e moderadamente calibradas, com distribuições granulométricas achatadas para as frações muito grosseiras, com curvas muito leptocurticas. Nestes sedimentos os teores da fração cascalhenta podem oscilar entre os 0% e os 20% e são praticamente desprovidos de finos (silte e argila). O mesmo autor referiu que estas características texturais dos sedimentos eram muito similares às características texturais dos sedimentos marinhos em deriva longilitoral adjacente à barra de São Luís, bem como, associou-as a ambientes com um hidrodinamismo elevado, justificado pela proximidade à barra.

5.1.3. Comparação dos levantamentos de 2009 e 2011.

Da sobreposição dos MDTs referentes aos levantamentos batimétricos de 8 a 11 de agosto de 2009 e de fevereiro de 2012 (figura 5.13), foi possível constatar que:

- A área sobreposta entre os dois MDTs correspondeu a 642869 m^2 , dos quais 403975 m^2 corresponderam às áreas de erosão, e 238894 m^2 às áreas que sofreram sedimentação;
- O volume total de sedimentos (erodidos, sedimentados e sem alteração) foi da ordem dos 367837 m^3 . Destes, os volumes sedimentares erodidos foram da ordem dos 292013 m^3 , enquanto os volumes depositados foram da ordem dos 75823 m^3 , o que perfaz um saldo sedimentar negativo de 216190 m^3 (favorável à erosão), conferindo uma taxa média mensal de erosão da ordem dos $7206 \text{ m}^3/\text{mês}$;
- Quando relacionados a resultante dos volumes sedimentares (volumes erodidos de 292013 m^3) com a área total da zona de estudo (642869 m^2), constata-se um decréscimo médio da batimetria na ordem dos $0,45 \text{ m}$ para o período de tempo entre os dois levantamentos, o que confere uma taxa média de decréscimo mensal da batimetria da ordem dos $0,02 \text{ m/mês}$;
- Para a área da delimitação do DEBSL não foi possível contabilizar quer os volumes sedimentares erosivos, quer os volumes sedimentares depositados.

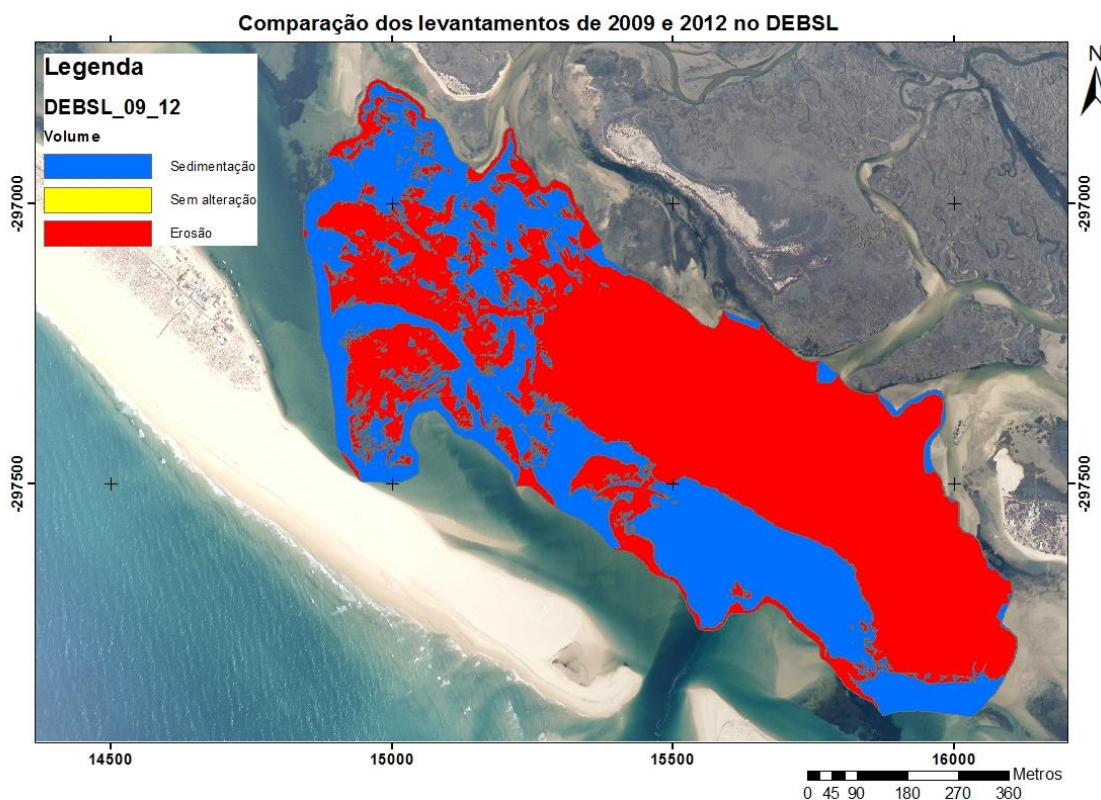


Figura 5.13: Comparação dos levantamentos batimétricos entre os anos de 2009 e 2011 no DEBSL.

5.2. DEBFO e ambiente intermareais adjacentes

5.2.1. Levantamento de 8-12 de agosto de 2010

Na figura 5.14 referente ao DEBFO e ambientes intermareais adjacentes, foram amostrados 20146 pontos georreferenciados e cotados, dispostos segundo os alinhamentos a tracejado, apresentado cotas batimétricas compreendidas entre 0,2 e os 2,6 mZH. Nestes ambientes, os intervalos batimétricos mais representativos encontraram-se compreendidos entre os 0,8 e os 1,7 mZH, de acordo com a figura 5.15.

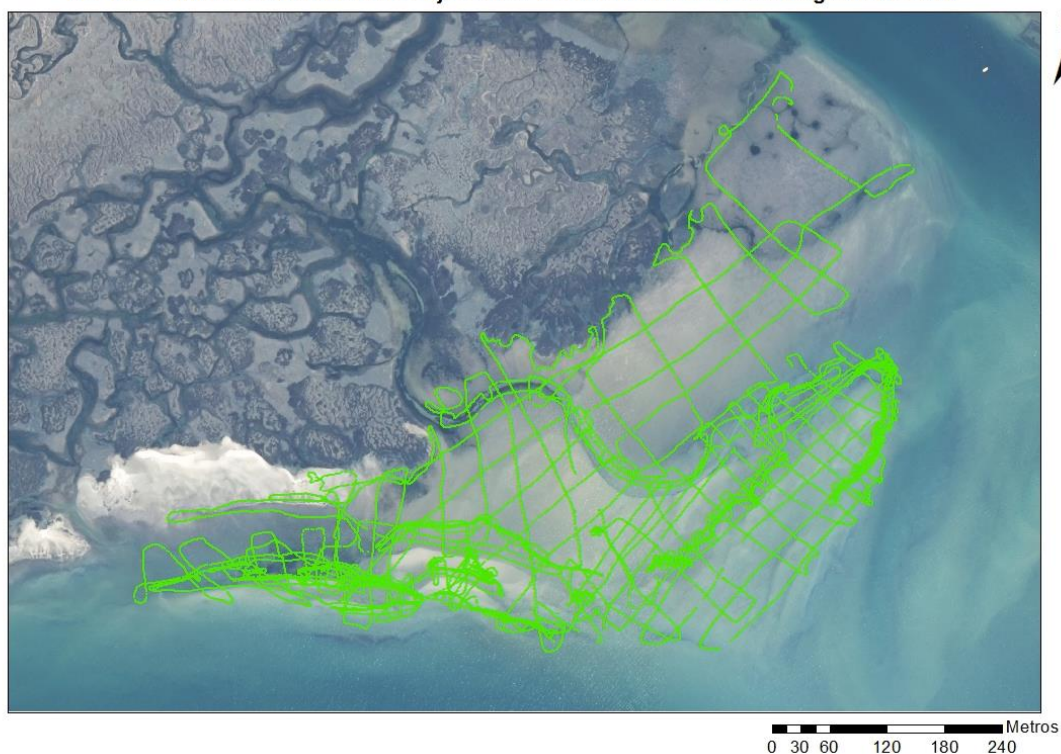


Figura 5.14: Levantamento batimétrico do delta de enchente da Barra de Faro-Olhão e ambientes intermareais adjacentes, efetuado de 8 a 12 de agosto de 2010. Representação das trajetórias realizadas pelo ROV - TopoDune e pela traquitana. Sistema de coordenadas dos pontos: *Datum 73 Hayford Gauss IPCC*.

Da análise desta figura constatam-se que as batimetrias mais próximas do zero hidrográfico (0 e os 0.9 mZH) localizam-se no setor S, SE, E, NE deste ambiente intermareal, enquanto as mais elevadas (1.7 a 2.6 mZH) localizam-se nas áreas adjacentes ao sapal dos Gemidos (setor N e NO da figura 5.16). As batimetrias compreendidas entre 0.9 e 1.7 mZH ocupam principalmente as áreas centrais deste ambiente intermareal.

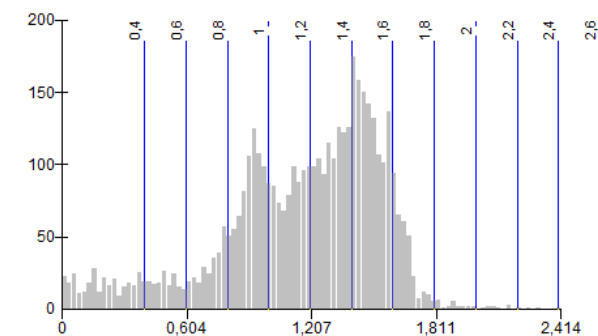


Figura 5.15: Intervalos de variação das batimetrias levantadas nos ambientes intermareais associados ao DEBFO, expressas em metros relativos ao zero hidrográfico (mZH).

Da análise da figura 5.16 que se encontra representado o MDT dos pontos correspondentes à figura 5.14 e à projeção dos vários ambientes com estruturas sedimentares estudados, pode-se constatar que:

- O delta de enchente da Barra de Faro-Olhão localizou-se na área S e SE deste ambiente intermareal em estudo, abrangendo uma área de 76700 m² que correspondeu 31% da área de todo o ambiente intermareal estudado (que representou uma área aproximada de 245200 m²);
- Este delta de enchente da zona intermareal ostenta uma grande frente de progradação de enchente, no setor NO, assinalada na figura 17, bem como áreas de *ripples* de enchente, dunas de enchente e áreas com marcas de estrias de enchente, com uma distribuição espacial, conforme a figura 5.16;
- O setor intermareal do DEBFO ocupou as batimetrias compreendidas entre os 0 mZH e os 1,7 mZH;
- As planícies intermareais planas (PIP) ocuparam praticamente a restante área deste ambiente intermareal, representando cerca de 69% da área total de estudo, ocupando as cotas batimétricas compreendidas entre 0,9 e 1,7 mZH.

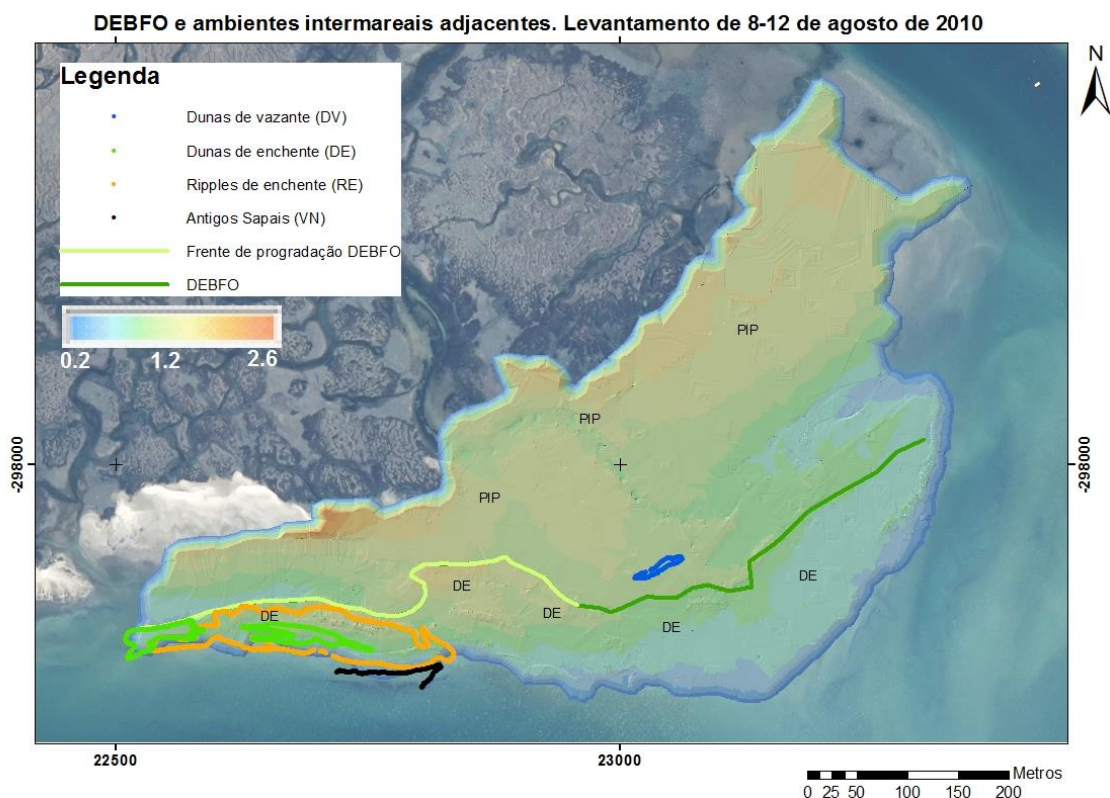


Figura 5.16: Modelo digital de terreno referente ao levantamento batimétrico do delta de enchente da Barra de Faro-Olhão e ambientes intermareais adjacentes, efetuado de 8 a 12 de agosto de 2010, no sistema UTM, *Datum 73* Hayford Gauss-IPCC. Projeção do DEBFO (DE), das áreas de *ripples* de enchente (RE), das áreas com dunas de enchente (DE), das áreas com camadas de vasa correspondentes a antigos sapais (VN), das planícies intermareais planas (PIP) e das áreas com dunas de vazante (DV).

Na figura 5.17 encontram-se representadas as direções das estruturas sedimentares de fundo bem como os principais sentidos de fluxo medidos no DEBFO. Tendo estas estruturas medidas na fase da baixa-mar, o domínio da fase da enchente no registo sedimentar neste ambiente é evidente uma vez que as cristas dos campos de dunas e *ripples* apresentam uma orientação ortogonal à BFO, bem como os respetivos sentidos de fluxos apontam no sentido da enchente. Desta forma, o ambiente intermareal definido no campo como pertencente ao delta de enchente da Barra de Faro-Olhão refletiu no registo sedimentar, um domínio claro das estruturas sedimentares de enchente e consequente um domínio hidrodinâmico

da fase de enchente (quando comparado com o da vazante), de acordo Davis (1978) e Department of the Army (1995).

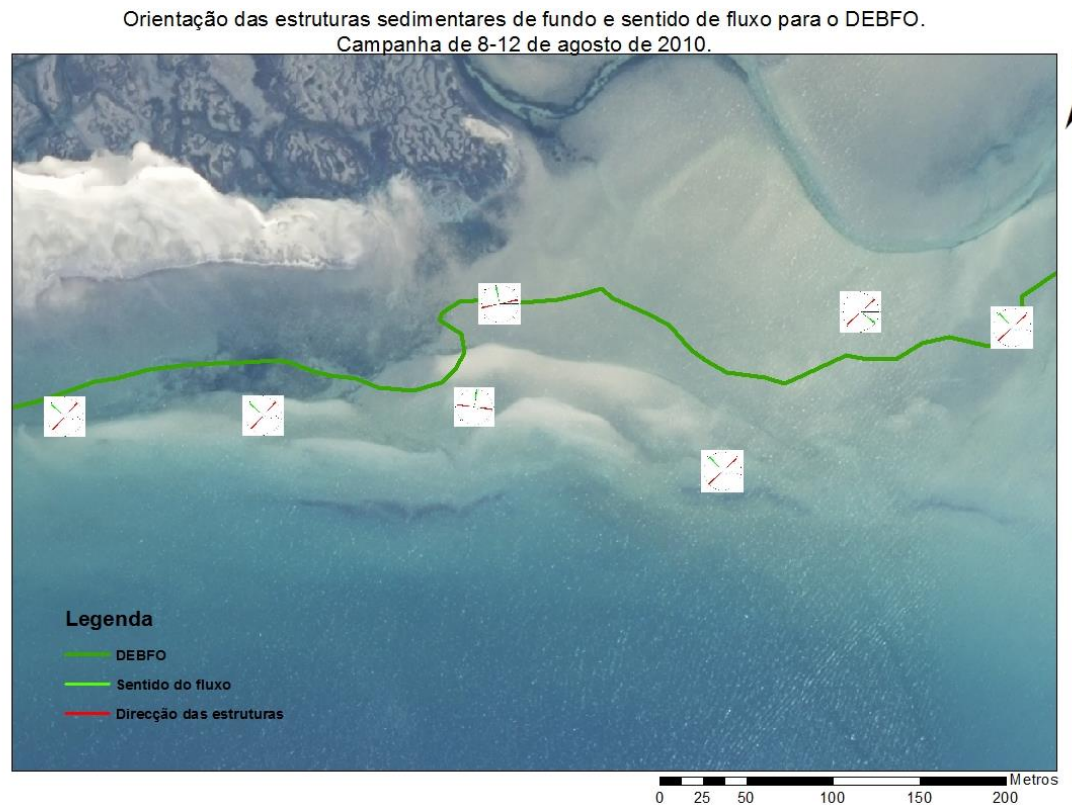


Figura 5.17: Distribuição espacial das direções das estruturas sedimentares de fundo e dos sentidos de fluxo no DEBFO. Campanha de 8-12 de agosto de 2010, no sistema UTM, *Datum* 73 Hayford Gauss-IPCC.

Quando analisados as características texturais dos sedimentos superficiais do ambiente intermareal em estudo, determinadas no trabalho (Madeira, 2012) e sobrepostas com a delimitação do DEBFO (figura 5.17), podendo constatar-se que os sedimentos do DEBFO corresponderam maioritariamente a areias e a areias ligeiramente cascalhentas. Na área correspondente ao DEBFO, dominaram as areias grosseiras bem calibradas, com assimetria para as frações grosseiras e com distribuições leptocúrticas, unimodais. A assimetria destes sedimentos resultou da introdução de frações de cascalho (representado maioritariamente por bioclastos) que variaram entre os 0% e os 30%. O mesmo autor referiu que estas características texturais dos sedimentos eram muito similares às características texturais dos

sedimentos marinhos adjacentes, e associou-as a ambientes com um hidrodinamismo elevado, justificado pela proximidade à barra Faro-Olhão.

As características texturais dos sedimentos que coincidiram com as PIP (ambientes marginais ao delta de enchente da Barra Faro-Olhão) e que foram definidas por Madeira (2012) sugerem ter características texturais (distribuições polimodais) resultantes da mistura de vários tipos de sedimentos. Estes, poderão resultar do transporte e deposição neste ambiente intermareal, que se localiza na confluência dos canais Cais Comercial-Barra Faro-Olhão, Barra Faro-Olhão com a Culatra, e com o Esteiro dos Cações.

5.2.2. Levantamento de fevereiro de 2013

No levantamento batimétrico de fevereiro de 2013 do DEBFO e ambientes intermareais adjacentes, representado na figura 5.18, foram amostrados 31456 pontos georreferenciados e cotados, apresentado cotas batimétricas compreendidas entre -1,5 e os 2,1 mZH. Nestes ambientes, os intervalos batimétricos mais representativos com mais de 50% de frequência relativa, encontraram-se compreendidos entre os 0,7 e os 1,7 mZH, de acordo com a figura 5.19.

DEBFO e ambientes intermareais adjacentes. Levantamento de fevereiro de 2013

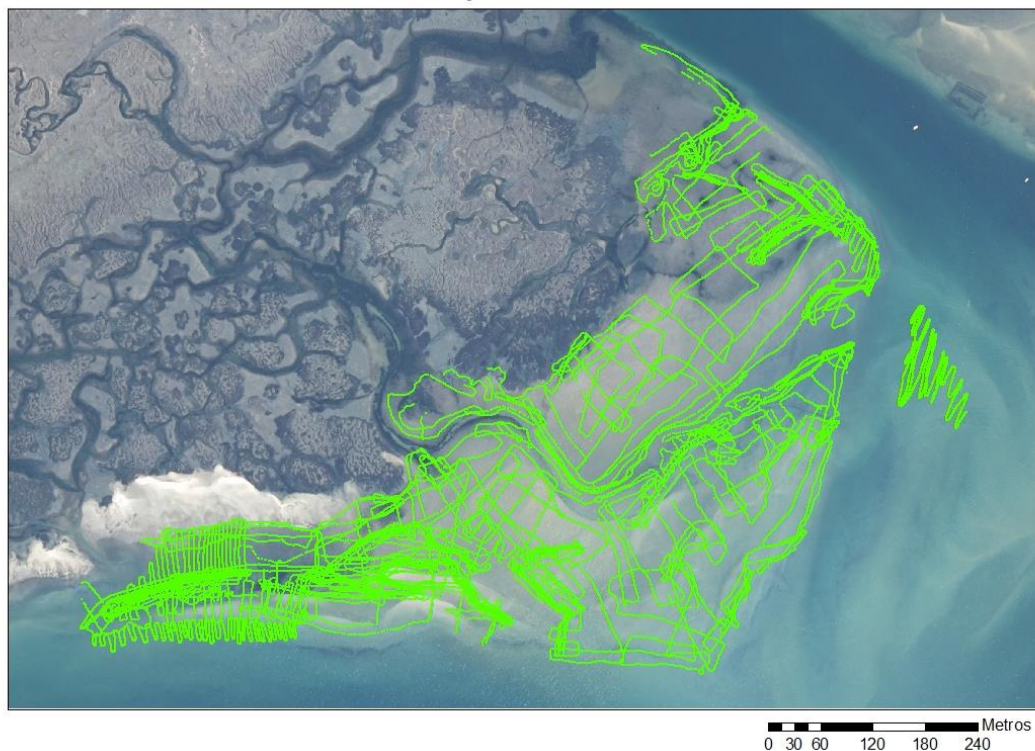


Figura 5.18: Levantamento batimétrico do delta de enchente da Barra de Faro-Olhão e ambientes intermareais adjacentes, efetuado em fevereiro de 2013. Representação das trajetórias realizadas pelo ROV - TopoDune e pela traquitana. Sistema de coordenadas dos pontos: *Datum* 73 Hayford Gauss IPCC.

Na figura 5.18 encontram-se representadas as trajetórias do ROV e da traquitana deste levantamento batimétricos onde se constata que as batimetrias mais próximas do zero hidrográfico (0.5 e os 1.7 mZH) localizam-se no setor S, SE, E, NE deste ambiente intermareal, enquanto as batimetrias mais elevadas (1.7 a 2.1 mZH) localizam-se preferencialmente nas áreas localizadas imediatamente a montante. As batimetrias compreendidas entre os -1.5 e os 0.5 mZH ocupam a parte do levantamento individualizado por um conjunto de trajetórias a Este da figura, tendo sido levantado com a traquitana.

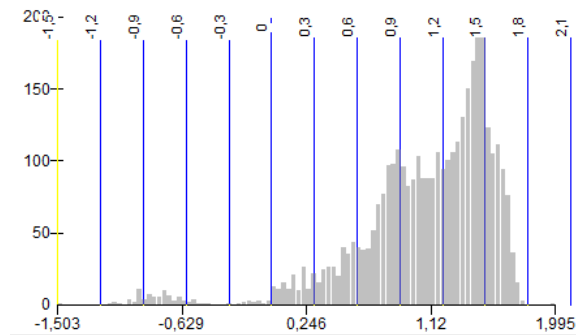


Figura 5.19: Intervalos de variação das batimetrias levantadas nos ambientes intermareais associados ao DEBFO, expressas em metros relativos ao zero hidrográfico (mZH).

Na figura 5.20 encontra-se representado o MDT dos pontos correspondentes à figura 5.18 e à projeção dos diferentes ambientes sedimentares estudados, podendo constatar-se que:

- O ambiente intermareal em estudo apresentou uma área de 274735 m², dos quais 85380m² corresponderam à delimitação da parte intermareal do delta de enchente da Barra de Faro-Olhão, que correspondeu a 31% da área total.
- O DEBFO localizou-se na área S e SE deste ambiente intermareal em estudo.
- Neste delta de enchente, na zona intermareal ostenta uma grande frente de progradação de enchente, no setor NO, assinalada na figura 5.20, bem como áreas de *ripples* de enchente, dunas de enchente e áreas com marcas de estrias de enchente, não identificadas na figura acima descrita. Áreas de camadas de vasa correspondentes a antigos sapais (VN) foram assinadas na figura 5.20;
- O setor intermareal do DEBFO ocuparam as batimetrias compreendidas entre os 0,5 mZH e os 1,7 mZH;
- As planícies intermareais planas (PIP) ocuparam praticamente a restante área deste ambiente intermareal, representando cerca de 69% da área total de estudo, ocupando preferencialmente as cotas batimétricas compreendidas entre 1,7 a 2,1 mZH;

- No setor E, onde foram cartografadas batimetrias batimetrias compreendidas entre os -1,5 e os 0,5 mZH, foi definido por ambientes de dunas de vazante.

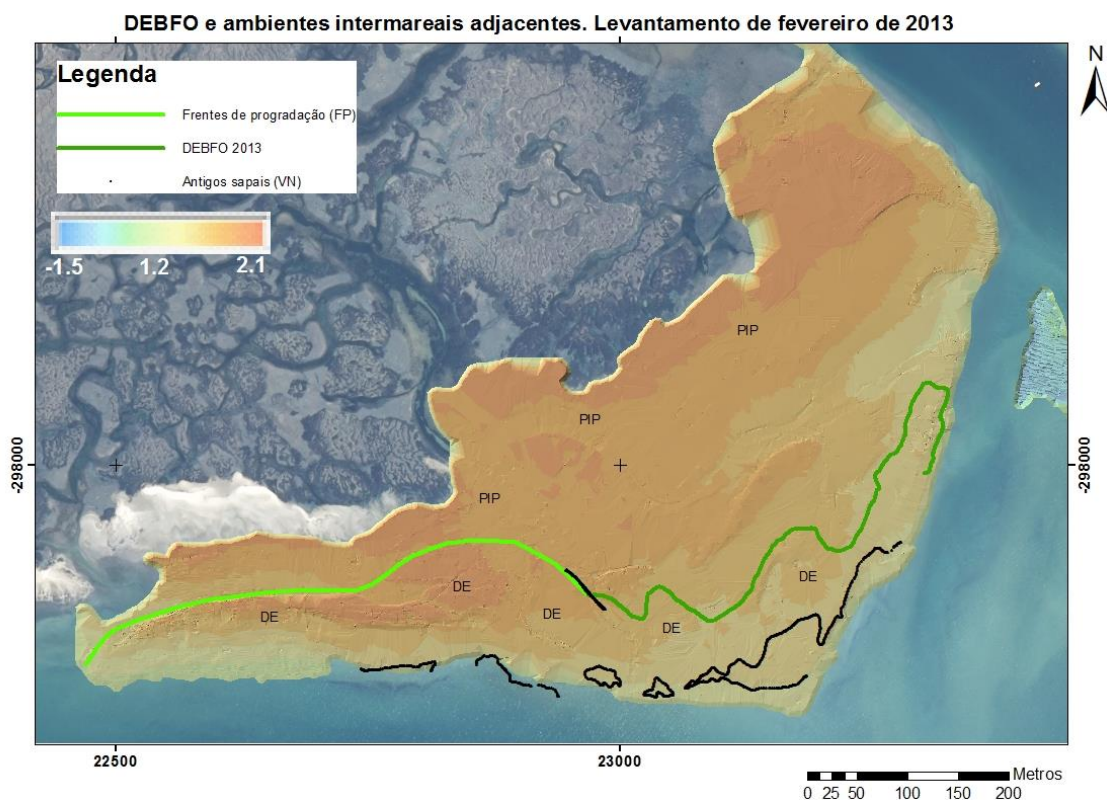


Figura 5.20: Modelo digital de terreno referente ao levantamento batimétrico do delta de enchente da Barra de Faro-Olhão e ambientes intermareais adjacentes, efetuado em fevereiro de 2013, no sistema UTM, *Datum* 73 Hayford Gauss-IPCC. Projeção do DEBFO (DE), das áreas com dunas de enchente (DE), das áreas de camadas de vasa correspondentes a antigos sapais (VN) e das planícies intermareais planas (PIP).

5.2.3. Comparação dos levantamentos de 2010 e 2013

Da sobreposição dos TINs referentes aos levantamentos de agosto de 2010 e de fevereiro de 2013 (figura 5.21) foi possível constatar que:

- A área total resultante da sobreposição dos ambientes intermareais dos dois levantamentos correspondeu a 228478,56 m²;

- O volume sedimentar total resultante da sobreposição dos ambientes intermareais dos dois levantamentos, respeitantes aos volumes de erosão, sedimentação e sem alteração, correspondeu a 31266 m³. Destes volumes, 14767,2 m³ corresponderam à erosão e 16498,8 m³ à sedimentação, o que indica que no intervalo de tempo de 30 meses, decorrido entre estes dois levantamentos batimétricos, o saldo sedimentar (diferença entre estes volumes) foi de aproximadamente 1731,6 m³, permitindo estimar uma taxa de sedimentação média de 57,7 m³/mês, para a área total em estudo (228476,56 m²);

- A área correspondente à delimitação do DEBFO do levantamento de 2010 correspondeu a 54720 m², enquanto a área do levantamento de 2013 correspondeu a uma área de 76710 m². A comparação destes resultados permite concluir que decorridos estes 30 meses houve um aumento espacial do DEBFO de 21990 m² para o interior da Ria (no sentido de enchente), o que permite estimar uma taxa média de acreção longitudinal na ordem dos 733 m²/mês;

- A análise espacial do DEBFO pode ser feita considerando dois setores distintos: i) setor correspondente à frente de progradação (setor Oeste); ii) setor Este cuja delimitação externa no DEBFO teve em consideração a delimitação externa dos ambientes com dunas de enchente, *ripples* de enchente, ambientes intermareais com estrias de enchente. A variação espacial do DEBFO correspondente à frente de progradação enquadra-se na figura 21 em áreas dominadas pela sedimentação (cor azul), enquanto o setor Este da delimitação do DEBFO se enquadrava em áreas que sofreram erosão (cor vermelha);

- A área de sedimentação (cor azul da figura 5.21) do DEBFO correspondente à frente de progradação representou um valor de 24548,53 m², tendo correspondido a um volume de sedimentação de 3806,62 m³;

- A área e volume de erosão (cor vermelha da figura 5.21) correspondente ao DEBFO no setor E não foram possíveis ser contabilizados.

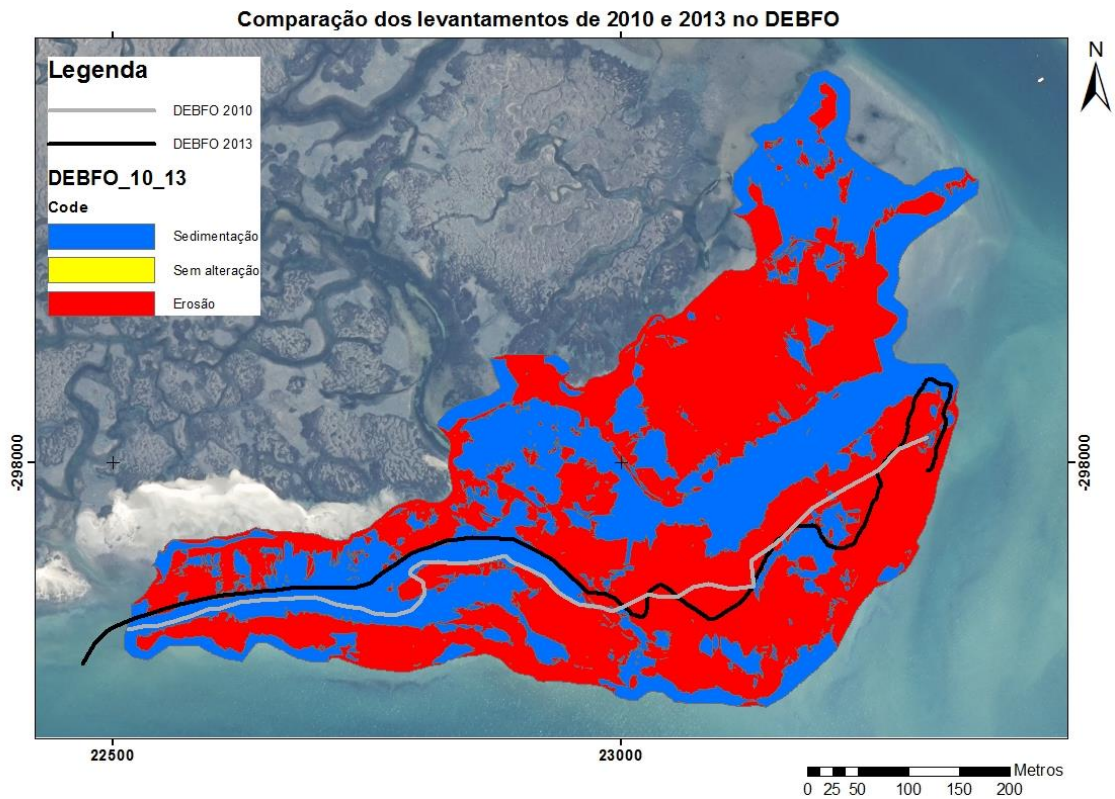


Figura 5.21: Comparação dos levantamentos batimétricos entre os anos de 2010 e 2013 no DEBFO.

5.3.DEBA e ambientes intermareais adjacentes

Relativamente ao DEBA foram georreferenciados 38572 pontos com o auxílio do ROV e da traquitana, que se encontram espacialmente representados na figura 5.22. Foram delimitadas as áreas dos ambientes: planícies intermareais planas (PIP), planícies intermareais com *ripples* (PIR), campos de ervas marinhas (CEM) e o delta de enchente associado à Barra da Armona (DEBA). Este delta foi definido com base nos ambientes com as seguintes estruturas sedimentares: ambientes com dunas e megadunas de enchente, com dunas de vazante que erodem parcialmente dunas de enchente e frente de progradação de enchente. As cotas batimétricas levantadas foram representadas fundamentalmente por duas classes, compreendidas entre os 0 a 1,5 mZH, e os 1,5 a 2,5 mZH.

DEBA e ambientes intermareais adjacentes. Levantamento de 8-12 de abril de 2010

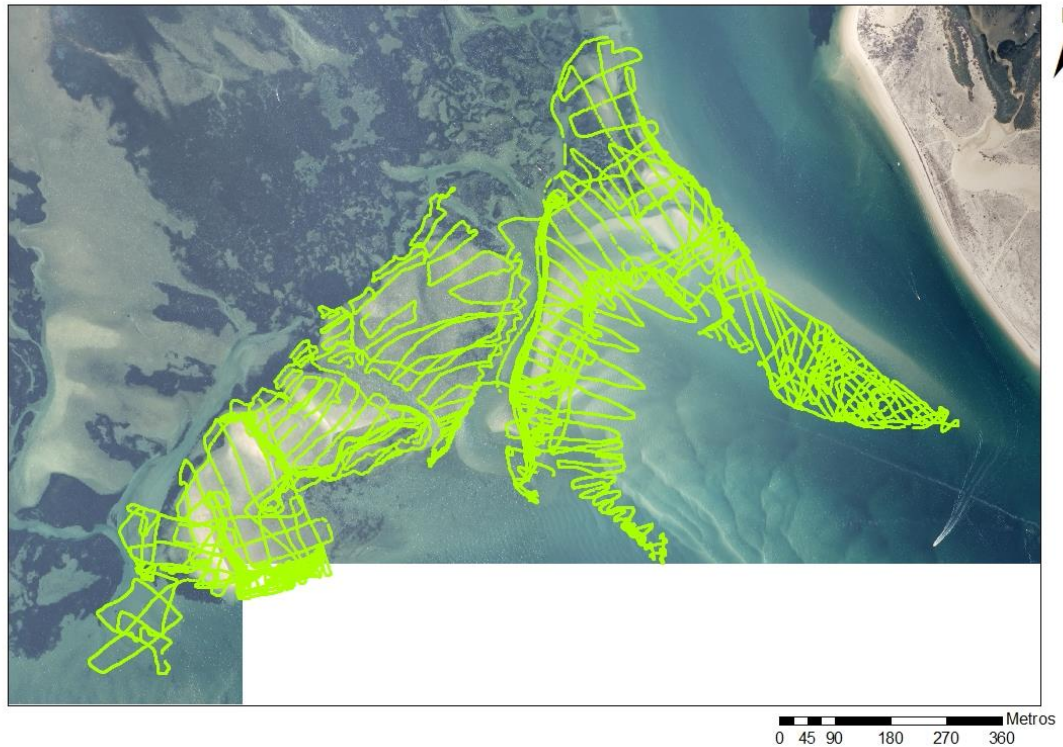


Figura 5.22: Levantamento batimétrico do delta de enchente da Barra de Armona e ambientes intermareais adjacentes, efetuado de 8 a 12 de abril de 2010. Representação das trajetórias realizadas pelo ROV - TopoDune e pela traquitana. Sistema de coordenadas dos pontos: *Datum* 73 Hayford Gauss IPCC.

A primeira classe refere-se a planícies intermareais planas e planícies intermareais com *ripples* enquanto na segunda classe verifica-se a existência de dunas. Neste ambiente as cotas mais representativas apresentam valores compreendidos entre 0,2 e os 1,3 mZH (figura 5.23).

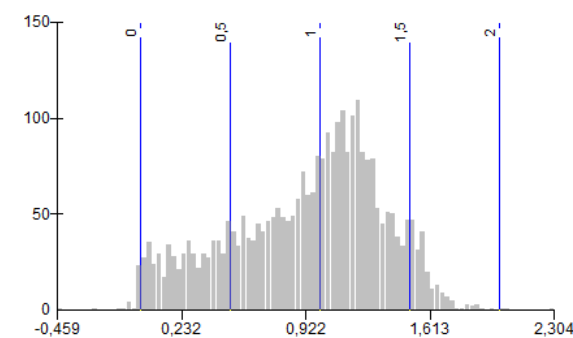


Figura 5.23: Intervalos de variação das batimetrias levantadas nos ambientes intermareais associados ao DEBA, expressas em metros relativos ao zero hidrográfico (mZH).

Do MDT resultante da interpolação dos pontos representados na figura 5.22, expresso na figura 5.24, pode-se verificar que:

- O ambiente intermareal em estudo representou uma área total de 451400 m², enquanto os PIP apresentaram uma área de 96600 m² (21,4%) e o DEBA uma área de 184000 m² (41%);
- A delimitação do DEBA no setor N e NE, feita no campo, correspondeu a uma frente de progradação de enchente. No seu interior foram caracterizadas as seguintes estruturas sedimentares: dunas e mega-dunas de enchente, dunas de vazante que erodiam parcialmente dunas de enchente, ambientes de *ripples* de enchente e de estrias de enchente;
- A restante área do ambiente intermareal levantado foi definida por planícies intermareais planas, por planícies intermareais com *ripples* e por campos de ervas marinhas;
- No setor SE deste MDT constatam-se três frentes de progradação assinaladas na figura como FP que refletem um transporte sedimentar no sentido da enchente (para o interior do sistema);
- Os ambientes intermareais adjacentes ao delta de enchente, atualmente definidos por PIP e PIR, quando conciliadas e comparadas com a caracterização textural dos respectivos sedimentos,

feito por Soares (2011), foi possível relacionar aqueles ambientes a antigos deltas de enchente associados a uma maior dimensão da Barra da Armona, no passado, de acordo com Esaguy (1984).

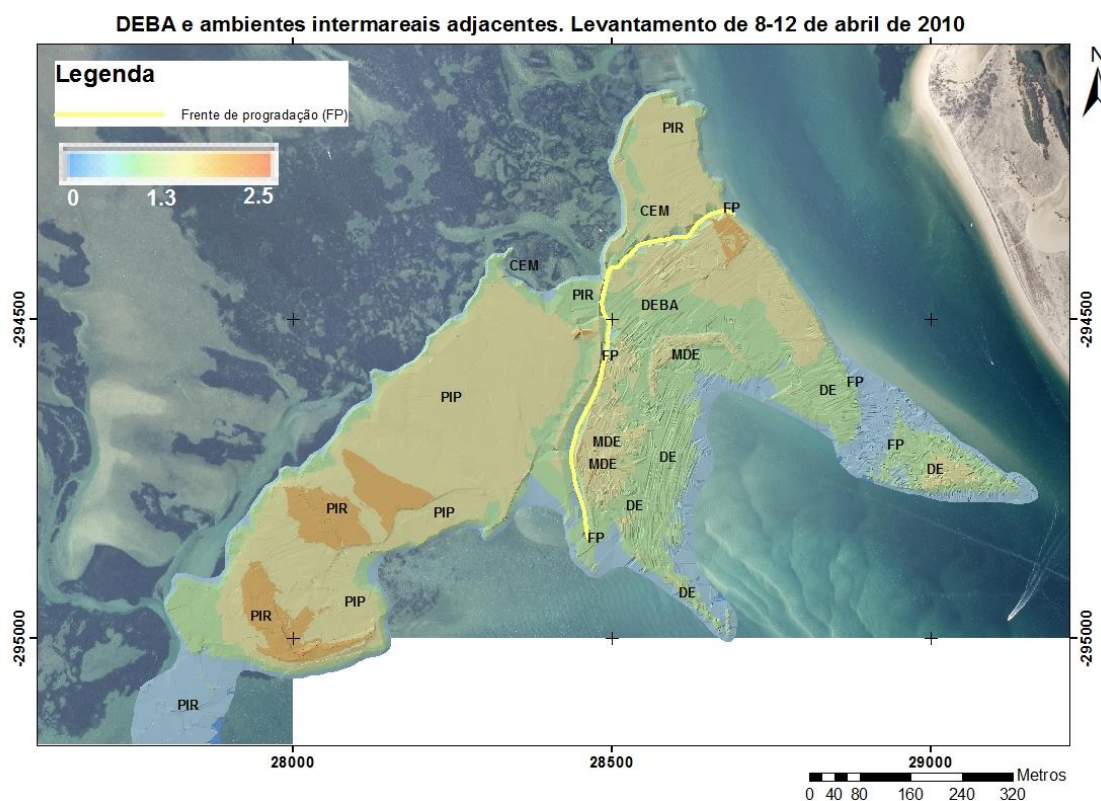


Figura 5.24: Modelo digital de terreno referente ao levantamento batimétrico do delta de enchente da Barra da Armona e ambientes intermareais adjacentes, efetuado de 8 a 12 de abril de 2010, no sistema UTM, *Datum 73* Hayford Gauss-IPCC. Projeção do delta de enchente da barra da Armona (DEBA), áreas de dunas de enchente (DE), áreas de planícies intermareais planas (PIP), áreas de planícies intermareais com *ripples*, campos de ervas marinhas (CEM), áreas com megadunas de enchente (MDE) e áreas com frentes de progradação (FP).

5.4.DEBF e ambientes intermareais adjacentes

O levantamento batimétrico efetuado no DEBF e ambientes intermareais adjacentes, representado na figura 5.25, foi definido por 57296 pontos georreferenciados e cotados, segundo os alinhamentos a tracejado na figura.

DEBF e ambientes intermareais adjacentes. Levantamento de setembro de 2010

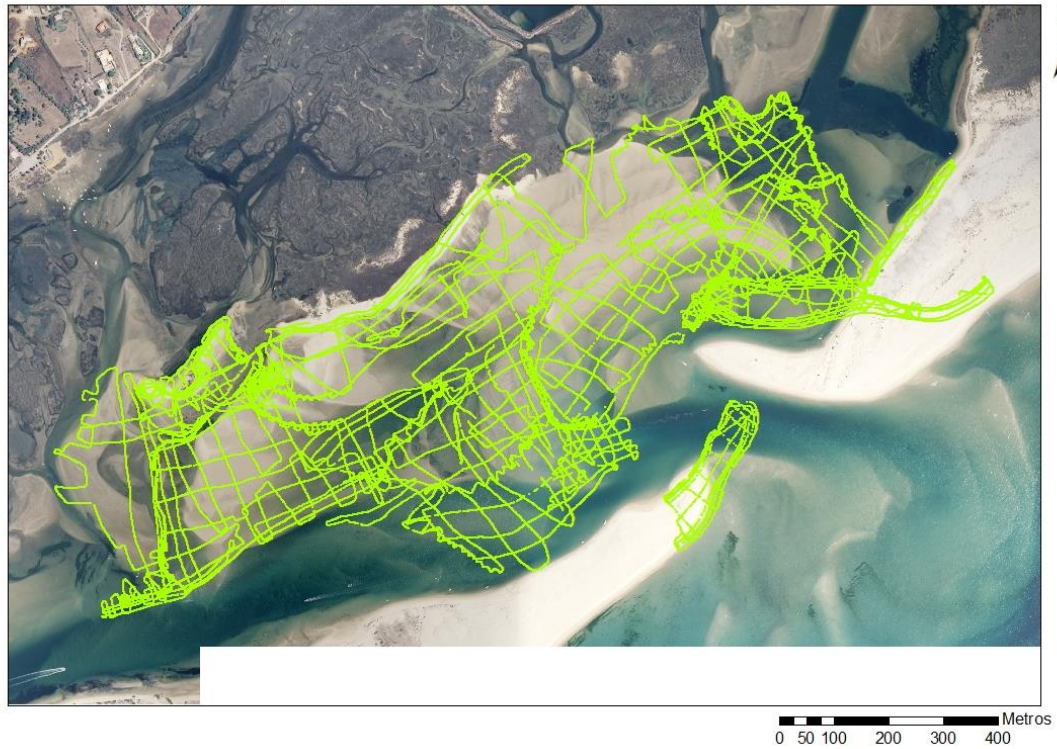


Figura 5.25: Levantamento batimétrico do delta de enchente da Barra da Fuzeta e ambientes intermareais adjacentes, efetuado em setembro de 2010. Representação das trajetórias realizadas pelo ROV - TopoDune e pela traquitana. Sistema de coordenadas dos pontos: *Datum* 73 Hayford Gauss IPCC.

As cotas batimétricas amostradas encontraram-se compreendidas entre os -1 e os 4,8 mZH, tendo os intervalos batimétricos mais representativos amostrados compreendidos entre os 0,1 e os 1,3 mZH (figura 5.26).

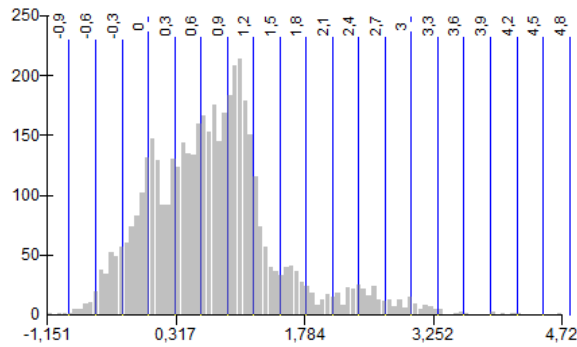


Figura 5.26: Intervalos de variação das batimetrias levantadas nos ambientes intermareais associados ao DEBF, expressas em metros relativos ao zero hidrográfico (mZH).

Na figura 5.27 encontra-se representado o MDT deste levantamento batimétrico, bem como a projeção dos vários ambientes sedimentares identificados no antigo delta de enchente da Barra da Fuzeta (antes da abertura antrópica da nova barra frente à Fuzeta em 2011), podendo-se constatar que:

- A área total estudada foi de 842950 m²;
- O DEBF se enquadrou no setor N e NE da área intermareal em estudo, abrangendo uma área de 203200 m², ou seja, 24% da área total;
- O setor intermareal do DEBF enquadrou-se nas cotas batimétricas compreendidas entre os 0,2 mZH e os 1,4 mZH;
- O DEBF foi definido por ambientes com mega-dunas de enchente, dunas de enchente, dunas de enchente parcialmente erodidas por dunas de vazante. Nos setores W, WS o seu bordo foi definido por uma frente de progradação no sentido de enchente, assinalada na figura 5.27;
- Os ambientes intermareais envolventes ao DEBF corresponderam a dunas de vazante, PIP e PIR, tendo representado 76% da área em estudo. Nestes ambientes também foram cartografadas várias frentes de progradação com orientações e morfologias que podem estar associadas a antigos deltas de enchente da Barra da Fuzeta, quando esta se encontrava numa posição mais a Poente, bem como à circulação hidrodinâmica (à data do levantamento batimétrico) que se faz ao longo do canal Barra da Fuzeta-Barra da Armona.

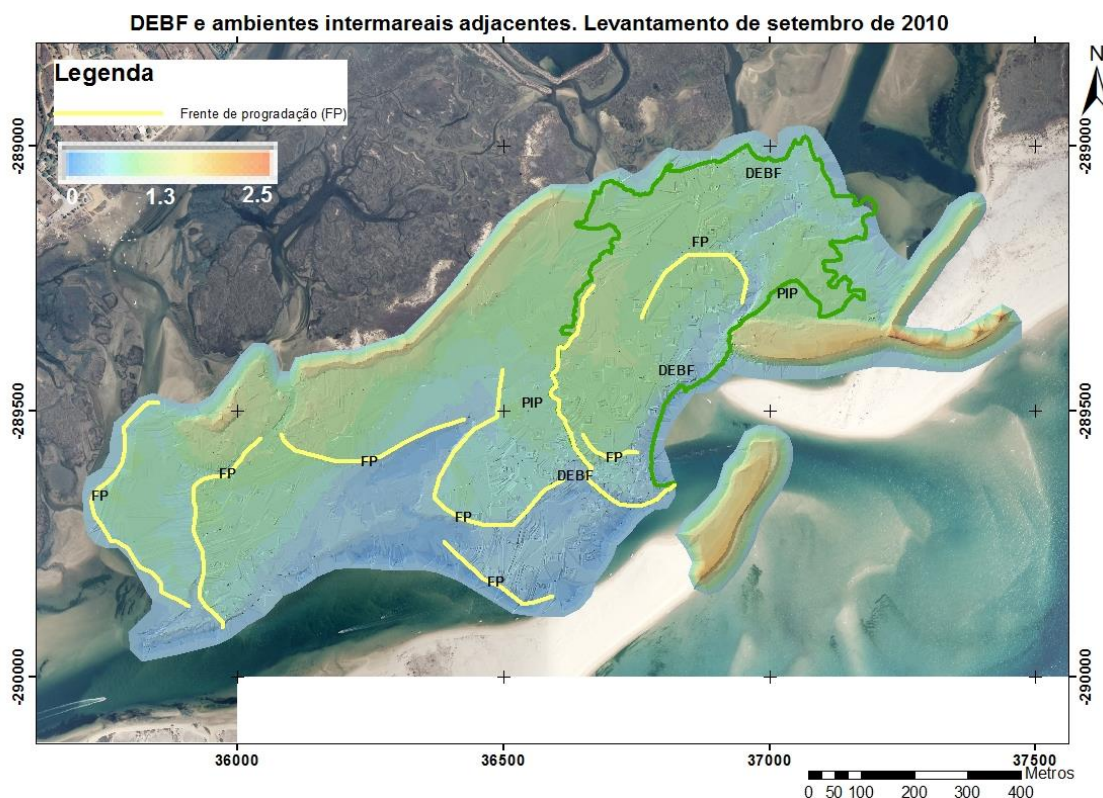


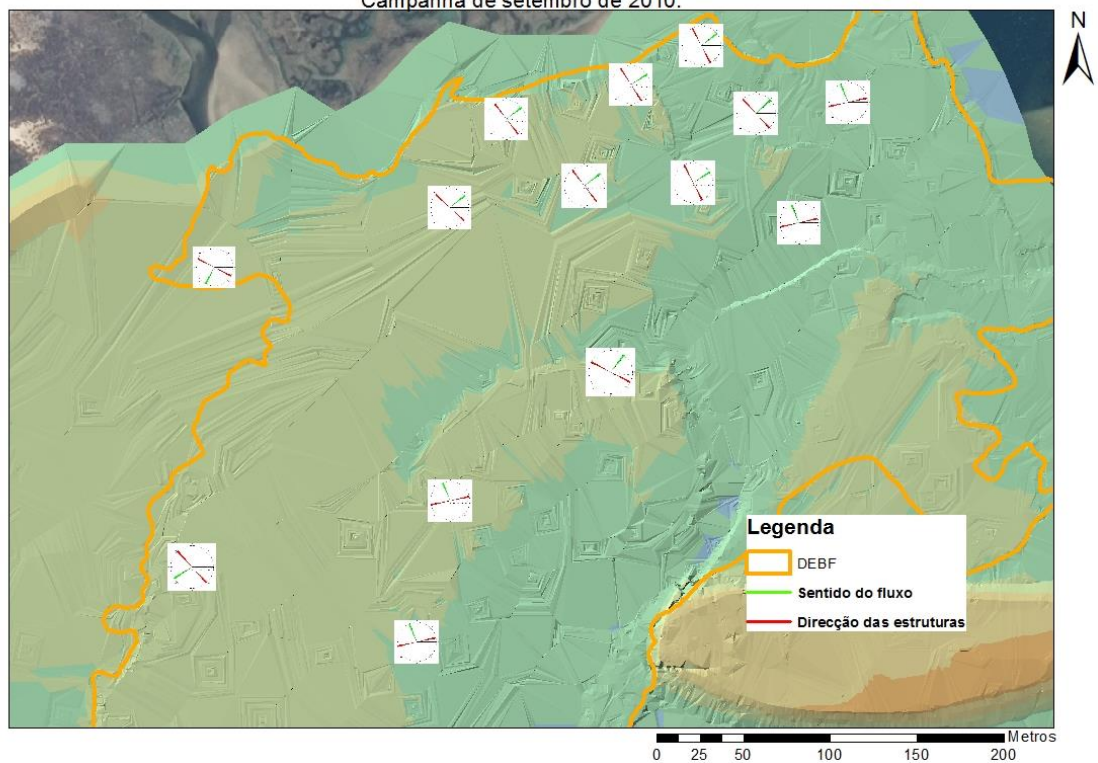
Figura 5.27: Modelo digital de terreno referente ao levantamento batimétrico do delta de enchente da Barra de Fuzeta e ambientes intermareais adjacentes, efetuado em setembro de 2010, no sistema UTM, *Datum* 73 Hayford Gauss-IPCC. Projeção do delta de enchente da Barra da Fuzeta (DEBF), das planícies intermareais planas (PIP) e das áreas com frentes de progradação (FP).

Na figura 5.28 encontram-se projetadas as direções das estruturas sedimentares e sentidos dos fluxos associados do DEBF. Considerando que estes parâmetros correspondem à fase da baixa-mar, tornam-se evidentes os domínios dos fluxos de enchente dentro do DEBF, apresentando uma configuração em leque. Os fluxos apresentam uma variação contínua no sentido da enchente, que variam nos bordos do DEBF respetivamente no sentido dos canais Barra da Fuzeta-Barra de Tavira e da Barra Fuzeta-Barra Armona. Na parte central do DEBF apontaram para Norte. O facto destas estruturas sedimentares de enchente se encontrarem estarem preservadas na fase da baixa-mar, indicia uma assimetria hidrodinâmica da maré favorável à fase da enchente, bem como uma resultante do transporte sedimentar no sentido da enchente, de acordo com os conceitos definidos em Davis (1978) e Department of the Army (1995).

Nos ambientes intermareais situados adjacientemente a Sul do DEBF, representados na figura 5.28-B, definidos por dunas de vazante, são evidentes os fluxos no sentido de vazante em direção à Barra da Fuzeta. A hidrodinâmica destes ambientes e a resultante do transporte sedimentar apontam para serem dominados pela fase da maré vazante, de acordo com Davis (1978) e Department of the Army (1995).

A)

Orientação das estruturas sedimentares de fundo e sentido de fluxo para o DEBF.
Campanha de setembro de 2010.



B)

Orientação das estruturas sedimentares de fundo e sentido de fluxo para o DEBF.
Campanha de setembro de 2010.

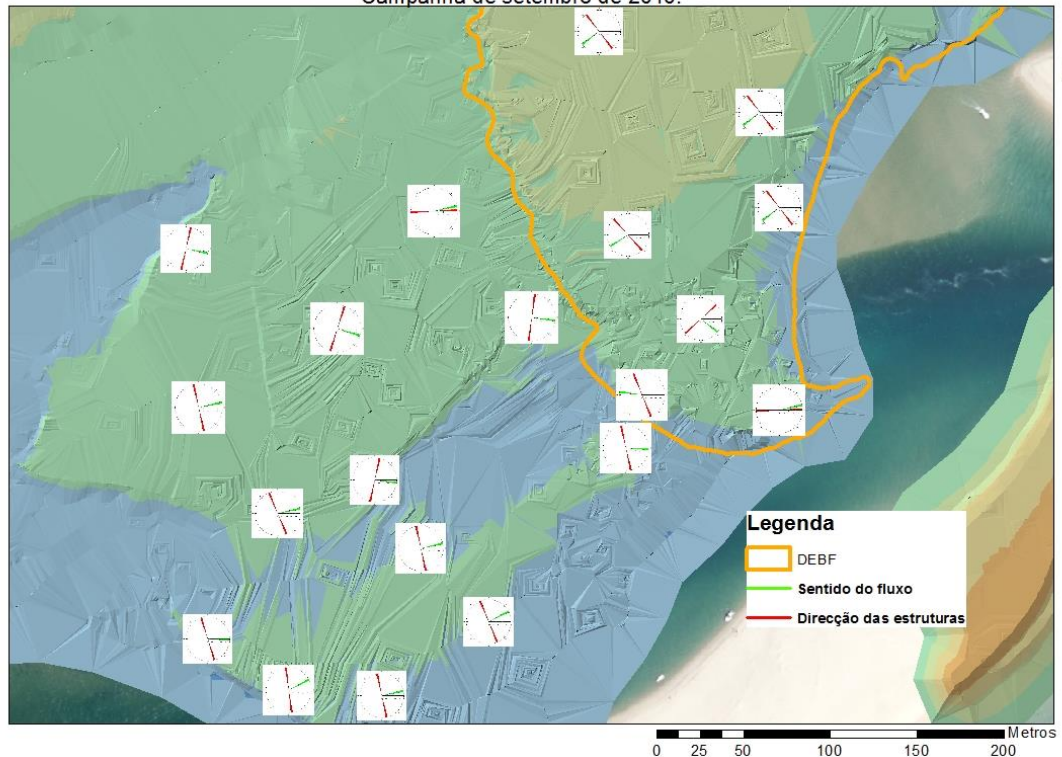


Figura 5.28: Distribuição espacial das direções das estruturas sedimentares de fundo e dos sentidos de fluxo no DEBF. A) Setor central e Norte do DEBF; B) Setor Sul do DEBF. Campanha de setembro de 2010, no sistema UTM, Datum 73 Hayford Gauss-IPCC.

Quando analisados as características texturais dos sedimentos superficiais dos ambientes intermareais em estudo, determinadas no trabalho (Silva, 2012), e sobrepostas com o MDT e a delimitação do DEBF (da figura 5.28), pode-se constatar que:

- Os sedimentos do DEBF corresponderam maioritariamente a areias grosseiras com alguns retalhos de areias médias, unimodais e mal calibradas (devido uma população bioclastica);
- Nas áreas intermareais periféricas ao DEBF os sedimentos apresentaram características texturais similares;

O referido autor constatou uma grande semelhança entre estas características texturais com as dos sedimentos marinhos adjacentes, levando a inferir uma proveniência marinha dos sedimentos desta área de estudo, bem como associou-os a ambientes com um hidrodinamismo elevado, justificado pela proximidade à barra da Fuzeta.

5.5.DEBT e ambientes intermareais adjacentes

5.5.1. Levantamento de 4-7 de dezembro de 2010

Nos ambientes intermareais associados à Barra de Tavira foram recolhidos com o auxílio do ROV, 31284 pontos cotados, cujas trajetórias se encontram expressas na figura 5.29. Estes ambientes localizaram-se na margem esquerda, junto ao arraial Ferreira Neto.

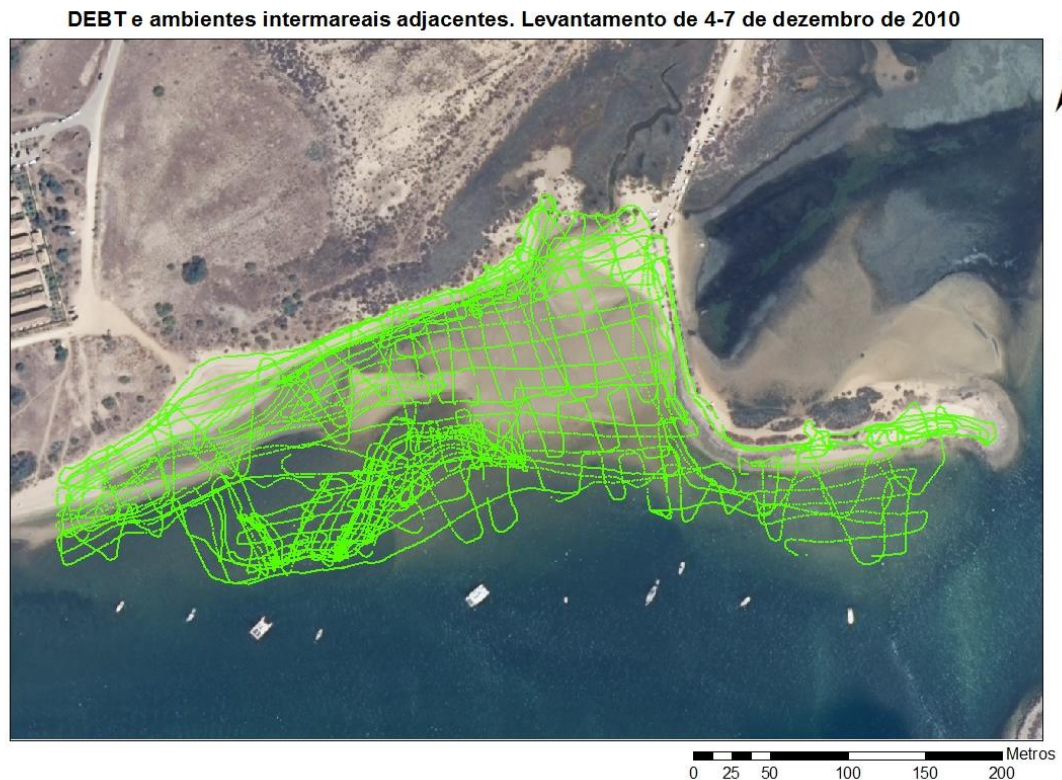


Figura 5.29: Levantamento batimétrico do delta de enchente da Barra de Tavira e ambientes intermareais adjacentes, efetuado de 4 a 7 de dezembro de

2010. Representação das trajetórias realizadas pelo ROV - TopoDune e pela traquitana. Sistema de coordenadas dos pontos: *Datum* 73 Hayford Gauss IPCC.

As cotas batimétricas obtidas, variaram entre os 0,4 e os 5,2 mZH, tendo os intervalos mais representativos, com mais de 50% de frequência relativa, sido compreendidos entre os 0,6 e os 2,9 mZH, de acordo com a figura 5.30. As batimetrias mais baixas (entre os 0,4 e os 0,7 mZH) localizaram-se no setor da área de estudo adjacente ao canal principal, enquanto as batimetrias mais elevadas dispuseram-se no setor oposto.

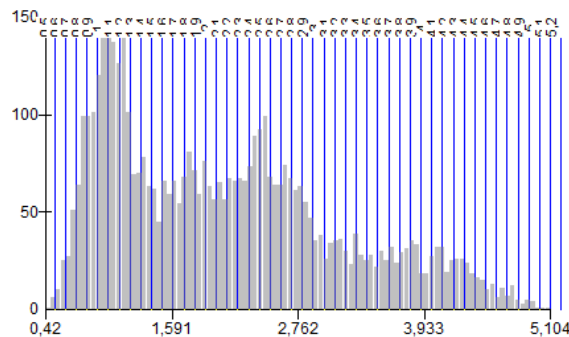


Figura 5.30: Intervalos de variação das batimetrias levantadas nos ambientes intermareais associados ao DEBT, expressas em metros relativos ao zero hidrográfico (mZH).

O MDT resultante da interpolação dos referidos pontos batimétricos, quando conciliado com a projeção da delimitação externa dos vários ambientes sedimentares (DEBT, PIP, PIR, VN), representada na figura 5.31 permitiu constatar que:

- A área intermareal em estudo rondou os 80070 m², definindo uma superfície batimétrica muito plana, praticamente desprovida de grandes formas de fundo (sem áreas de dunas de vazante, com exceção de mega-dunas presentes na zona do DEBT – figura 5.31);
- A parte intermareal do DEBT apenas teve uma pequena expressão espacial na margem esquerda do canal

Quatro-Águas/Barra Tavira, representada por uma área de 13370 m² (17% do corpo sedimentar em estudo - figura 32). O setor intermareal da margem direita deste canal encontrava-se coberto por enrocamento, não havendo qualquer registo sedimentar do DEBT;

- O setor intermareal do DEBT ocupou as batimetrias compreendidas entre os 0,4 e os 1,8 mZH. Foi definido por apresentar sedimentos de fundo com dunas e megadunas de enchente e estrias de enchente;
- Nas áreas intermareais adjacentes ao DEBT, foram identificadas e delimitadas áreas de PIP, PIR e VN que representaram cerca de 66700 m² (73%), tendo abrangido batimétricas compreendidas entre os 0,4 e os 2.9 mZH.

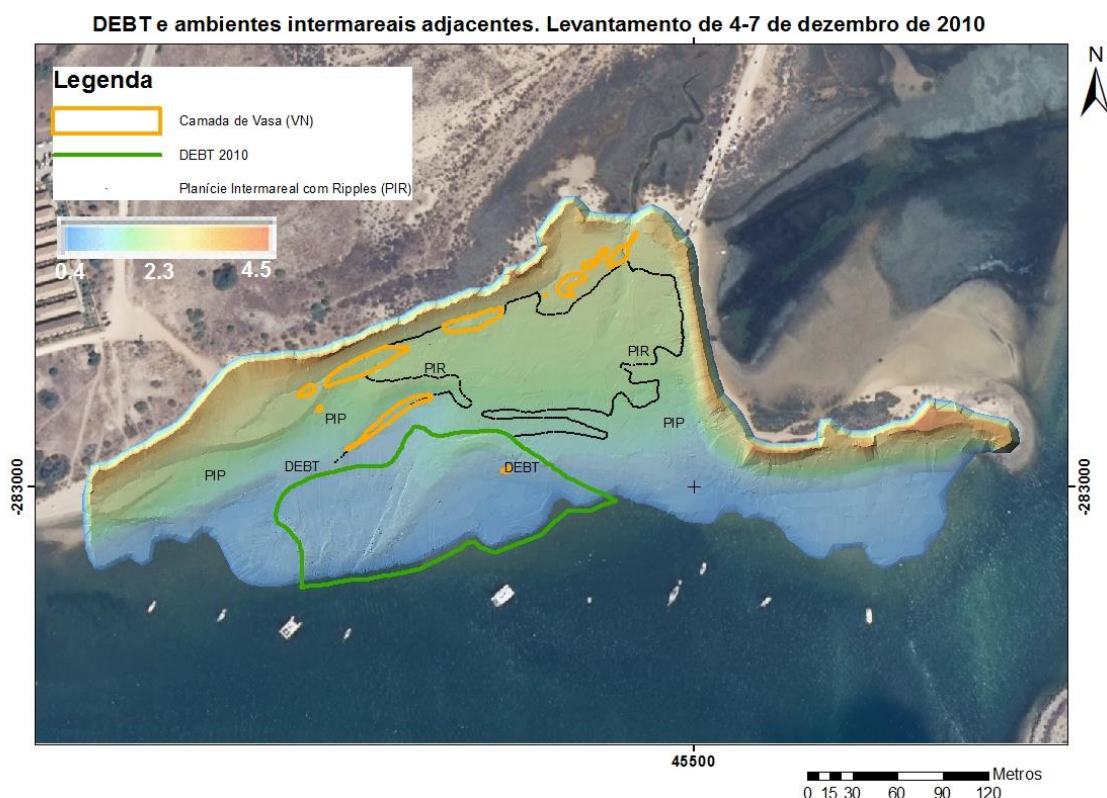


Figura 5.31: Modelo digital de terreno referente ao levantamento batimétrico do delta de enchente da Barra de Tavira e ambientes intermareais adjacentes, efetuado de 4 a 7 de dezembro de 2010, no sistema UTM, Datum 73 Hayford Gauss-IPCC. Projeção do delta de enchente da Barra de Tavira (DEBT),

das planícies intermareais planas (PIP), das planícies intermareais com *ripples* (PIR) e das áreas com dunas de vazante (DV).

5.5.2. Levantamento de 29 de agosto de 2012

No dia 29 de agosto de 2012 foi feito um levantamento batimétrico no DEBT e zonas intermareais envolventes de acordo com as trajetórias apresentadas na figura 5.32.



Figura 5.32: Levantamento batimétrico do delta de enchente da Barra de Tavira e ambientes intermareais adjacentes, efetuado a 29 de agosto de 2012. Representação das trajetórias realizadas pela traquitana. Sistema de coordenadas dos pontos: *Datum* 73 Hayford Gauss IPCC.

O leque de batimetrias amostrados encontram-se expressas na figura 5.33, tendo as batimétricas mais amostradas (com mais de 50% da frequência relativa) correspondendo as batimétricas compreendidas entre 0,9 e os 2,5 mZH.

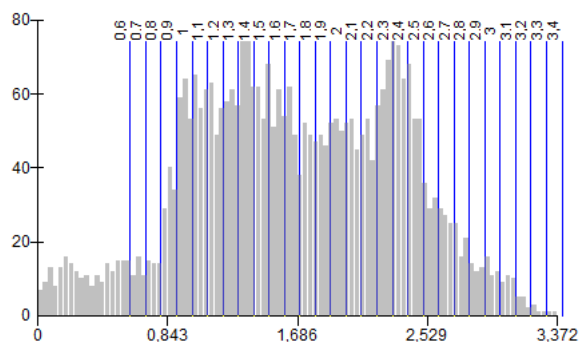


Figura 5.33: Intervalos de variação das batimetrias levantadas nos ambientes intermareais associados ao DEBT, expressas em metros relativos ao zero hidrográfico (mZH).

Na figura 5.34, encontram-se projetados o MDT correspondente às coordenadas geográficas e batimétricas amostradas, permitindo constatar que:

- Verifica-se um decréscimo gradual da batimetria da margem para a parte mais próxima do eixo do canal;
- Muito embora não se tenham delimitado os ambientes sedimentares, o MDT continua a definir uma superfície batimétrica relativamente muito plana com macroformas de fundo na zona mais central deste ambiente.

DEBT e ambientes intermareais adjacentes. Levantamento de 29 de agosto de 2012



Figura 5.34: Modelo digital de terreno referente ao levantamento batimétrico do delta de enchente da Barra de Tavira e ambientes intermareais adjacentes, efetuado a 29 de agosto de 2012, no sistema UTM, *Datum* 73 Hayford Gauss-IPCC.

5.5.3. Comparação dos levantamentos de 2010 e 2012

Da sobreposição dos MDTs referentes aos levantamentos batimétricos de 4-7 de dezembro de 2010 e de 29 de agosto de 2012 (figura 5.35), foi possível constatar que:

- A área sobreposta entre os dois MDTs correspondeu a 48313 m^2 , dos quais 30223 m^2 corresponderam às áreas de erosão, e 18090 m^2 às áreas que sofreram sedimentação;
- O volume total de sedimentos (erodidos, sedimentados e sem alteração) foi da ordem dos 10350 m^3 . Destes, os volumes sedimentares erodidos foram da ordem dos 8081 m^3 , enquanto os volumes depositados foram da ordem dos 2269 m^3 , o que perfaz um

saldo sedimentar negativo de 5813 m³ (favorável à erosão), conferindo uma taxa média mensal de erosão da ordem dos 291 m³/mês;

- Quando relacionados a resultante dos volumes sedimentares (volumes erodidos de 5813 m³) com a área total da zona de estudo (48313 m²), constata-se um decréscimo médio da batimetria na ordem dos 0,12 m para o período de tempo entre os dois levantamentos, o que confere uma taxa média de decréscimo mensal da batimetria da ordem dos 0,006 m/mês;

- Para a área da delimitação do DEBT não foi possível contabilizar quer os volumes sedimentares erosivos, quer os volumes sedimentares depositados.

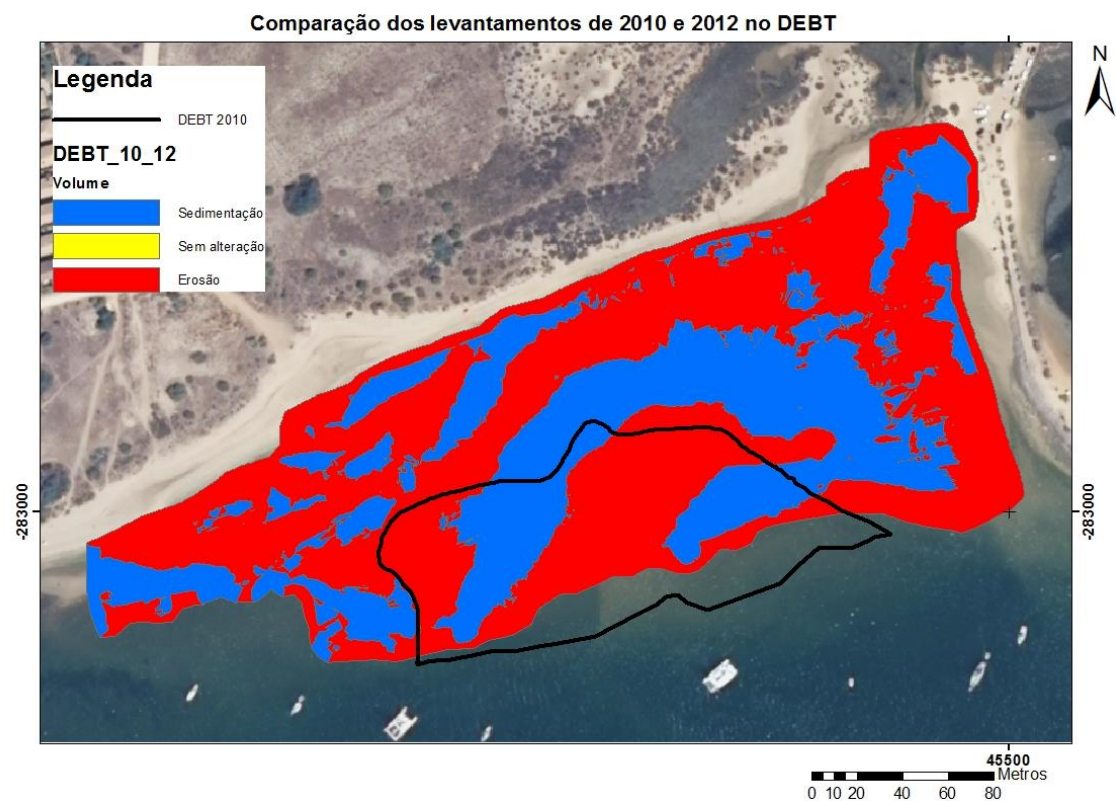


Figura 5.35: Comparação dos levantamentos batimétricos entre os anos de 2010 e 2012 no DEBT.

5.6.DEBL e ambientes intermareais adjacentes

Na figura 5.36 encontram-se expressas as trajetórias do levantamento batimétrico referente ao DEBL e ambientes intermareais adjacentes, efetuado entre

10 a 18 de julho de 2010. Foram recolhidos 71765 pontos georreferenciados e cotados, dos quais apresentaram uma variação entre os 0,8 e os 4,5 mZH.

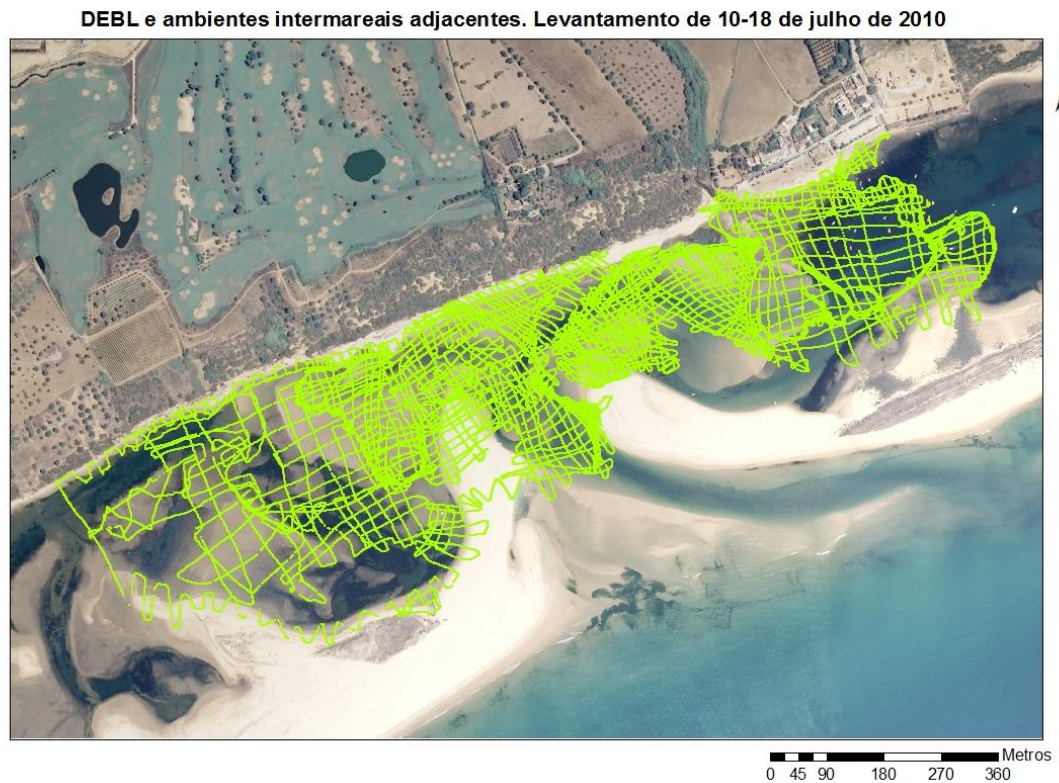


Figura 5.36: Levantamento batimétrico do delta de enchente da Barra do Lacém e ambientes intermareais adjacentes, efetuado de 10 a 18 de julho de 2010. Representação das trajetórias realizadas pelo ROV - TopoDune e pela traquitana. Sistema de coordenadas dos pontos: *Datum 73 Hayford Gauss IPCC*.

As batimetrias mais representativas (com mais de 50% da frequência relativa) encontraram-se compreendidas entre os 1,6 e os 3,8 mZH, de acordo com a figura 5.37.

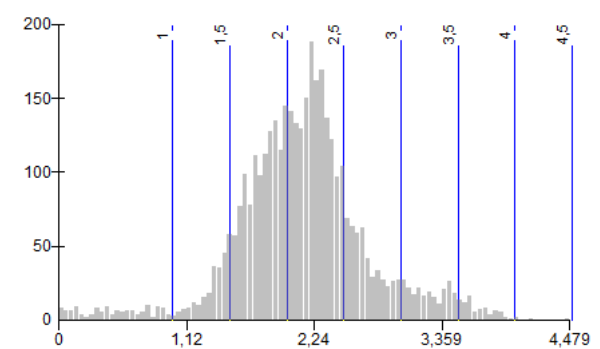


Figura 5.37: Intervalos de variação das batimetrias levantadas nos ambientes intermareais associados ao DEBL, expressas em metros relativos ao zero hidrográfico (mZH).

Da análise da figura 5.38, onde se encontra representado o MDT dos pontos batimétricos amostrados, bem como se projetou os vários ambientes sedimentares, pode-se constatar que:

- O delta de enchente da Barra do Lacém apresentou uma distribuição espacial central no ambiente intermareal em estudo, abrangendo uma área de aproximadamente 196800 m², que correspondeu a 41% da área total do ambiente intermareal estudado (que foi representado por uma área aproximada de 482000 m²);
- O setor intermareal do DEBL ocupou as batimetrias compreendidas entre os 0,8 e os 2,3 mZH;
- O delta de enchente da zona intermareal foi definido por área de dunas de enchente (DE), áreas de dunas de enchente parcialmente erodidas por dunas de vazante (DV-E), áreas de ervas marinhas (CEM) e camadas de vasa, correspondentes a antigos sapais (VN), de acordo com a figura 5.38;
- Os ambientes anteriormente referidos, representaram áreas de 3594,8 m² (0,75%) para as DE, 33780 m² (7%) para as DV-E, 2292,6 m² (0,5%) para as PIP, 1403,9 m² (0,3%) para as VN e 2887,5 m² (0,6%) para a CEM, ocupando áreas com batimetrias compreendidas entre os 1,5 e os 3 mZH.

Quando analisados as características texturais dos sedimentos superficiais dos ambientes intermareais da área em estudo, determinadas no trabalho de Brito (2012) e sobrepostas com o MDT e a delimitação do DEBL (figura 5.39), pode-se constatar que os sedimentos do DEBL corresponderam maioritariamente a areias médias e grosseiras, mal calibradas (resultantes de fração bioclástica). O mesmo autor referiu que estas características texturais dos sedimentos destes ambientes eram muito similares às características texturais dos sedimentos matinhos adjacentes, bem como, associou-os a ambientes de alto hidrodinamismo, justificando-o pela sua proximidade da barra.

Estas características texturais dos sedimentos (destes ambientes intermareais) quando conciliadas com as formas de fundo realçadas pelo MDT da figura 5.39, permitem inferir que os ambientes adjacentes ao atual DEBL, anteriormente definidos por PIP, poderão ter constituído antigos DEBL associados à migração da barra de Poente para Nascente.

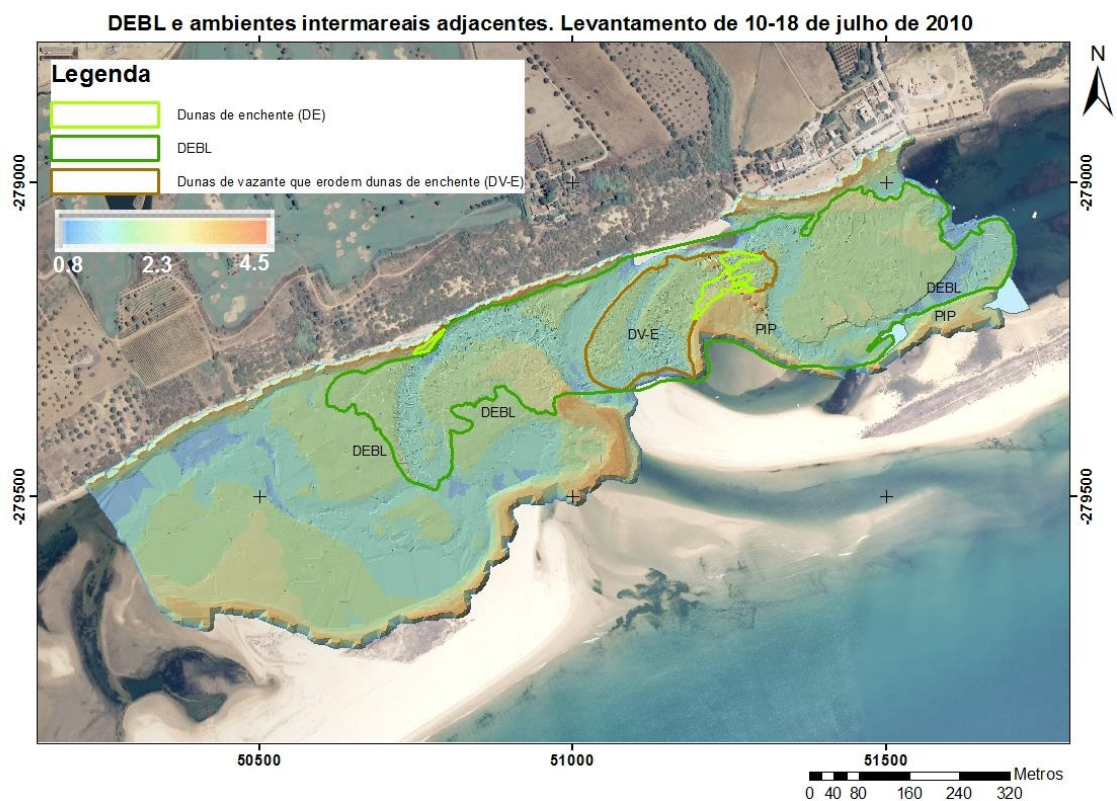


Figura 5.38: Modelo digital de terreno referente ao levantamento batimétrico do delta de enchente da Barra do Lacém e ambientes intermareais adjacentes, efetuado de 10 a 18 de julho de 2010, no sistema UTM, *Datum* 73 Hayford Gauss-IPCC. Projeção do delta de enchente na Barra do Lacém (DEBL),

das planícies intermareais planas (PIP) e das áreas com dunas de enchente parcialmente erodidas por dunas de vazante (DV-E).

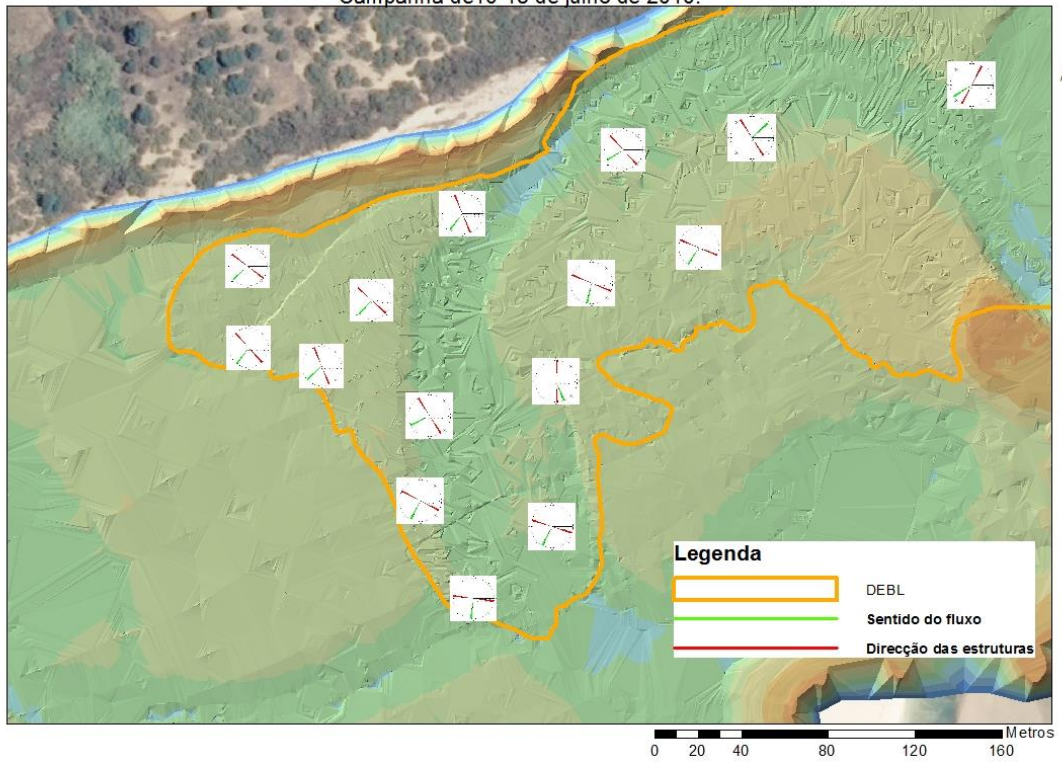
Na figura 5.39-A encontra-se projetada no MDT o setor Oeste do DEBL. Quando projetadas as direções das estruturas sedimentares e sentidos de propagação dos fluxos, medidos na fase da baixa-mar, foi possível constatar que neste ambiente intermareal as direções de fluxo se fazem preferencialmente segundo o alinhamento longitudinal do canal Barra do Lacém - Barra de Tavira, segundo o sentido da enchente (para Oeste), evidenciando um domínio da fase da enchente neste ambiente sedimentar.

Na figura 5.39-B encontra-se projetada no MDT o setor Central do DEBL. Quando projetadas as direções das estruturas sedimentares e sentidos de propagação dos fluxos, medidos na fase da baixa-mar, foi possível constatar que neste ambiente intermareal as direções de fluxo se fizeram preferencialmente segundo o alinhamento do eixo central da Barra do Lacém, em direção à zona continental, no sentido da enchente (neste setor para N), realçando o domínio da fase da enchente neste ambiente sedimentar.

Na figura 5.39-C encontra-se projetada no MDT o setor Este do DEBL. Quando projetadas as direções das estruturas sedimentares e sentidos de propagação dos fluxos, medidos na fase da baixa-mar, foi possível constatar que neste ambiente intermareal as direções de fluxo se fazem preferencialmente segundo o alinhamento longitudinal do canal Barra do Lacém velha - Barra de Lacém nova, segundo o sentido da enchente (neste setor do DEBL para Este), evidenciando um domínio da fase da enchente neste ambiente sedimentar.

A)

Orientação das estruturas sedimentares de fundo e sentido de fluxo para o DEBL.
Campanha de 10-18 de julho de 2010.



B)

Orientação das estruturas sedimentares de fundo e sentido de fluxo para o DEBL.
Campanha de 10-18 de julho de 2010.

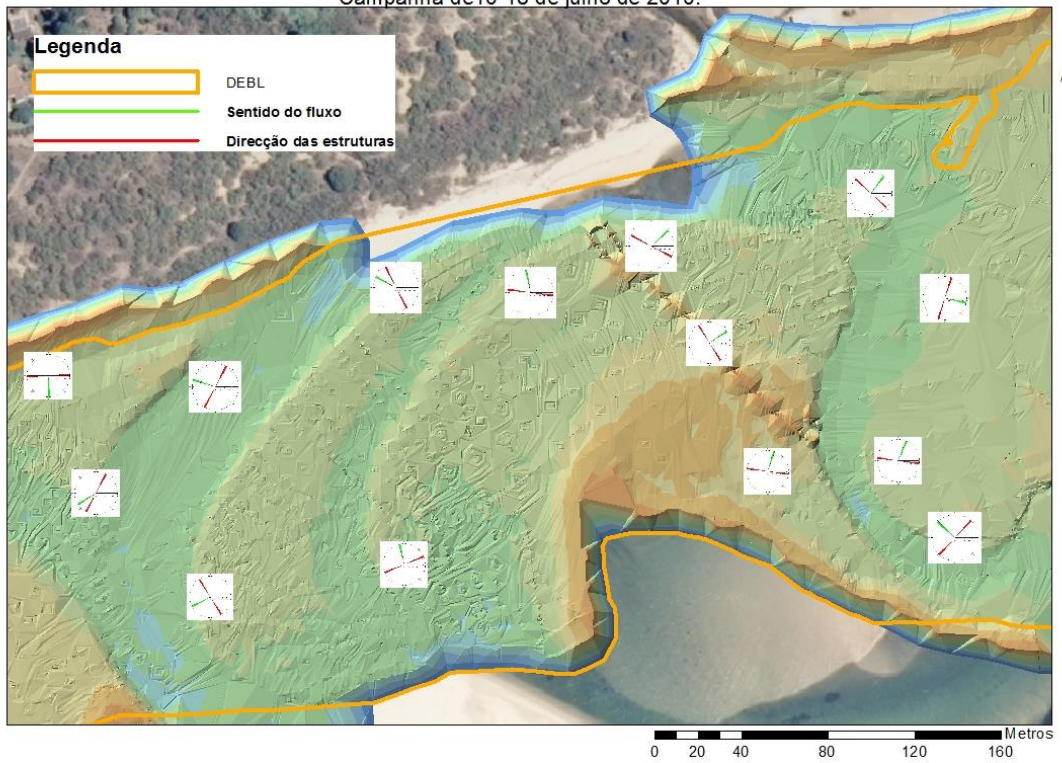




Figura 5.39: Distribuição espacial das direções das estruturas sedimentares de fundo e dos sentidos de fluxo no DEBL. A) Setor Oeste do DEBL; B) Setor Central do DEBL; C) Setor Este do DEBL. Campanha de 10 a 18 de julho de 2010, no sistema UTM, *Datum* 73 Hayford Gauss-IPCC.

6. Conclusões

Na área de estudo referente ao DEBSL, foram feitos dois levantamentos batimétricos em agosto de 2009 e em novembro de 2011, dos quais permitiram:

- Concluir que os ambientes intermareais em estudo apresentaram por uma tendência geral de erosão definida por uma taxa média mensal da ordem dos 7206 m³/mês, responsável por um decréscimo médio mensal da batimetria da ordem dos 0,02 m/mês;

- Foram identificadas macroformas de fundo (frentes de progradação de enchente ou com formas em leque) com semelhanças morfológicas a antigos deltas de enchente;

- A informação anterior quando conciliada com a análise sedimentar destes ambientes intermareais feita por Pastor (2012), permitiu relacionar os ambientes intermareais arenosos atualmente situados a Poente do DEBSL como tendo sido antigos deltas de enchente da Barra de São Luís aquando do movimento cíclico natural dessa barra, de Poente para Nascente.

As áreas intermareais associadas ao DEBFO e definidas por dois levantamentos batimétricos, de agosto de 2010 e de fevereiro de 2013, permitiram concluir que:

- O delta de enchente localizou-se no setor S e SE da zona de estudo, abrangendo uma área de 76700 m² no ano de 2010 e de 274735 m² relativos a 2013. Ocupando batimetrias compreendidas entre os 0 mZH e os 1,7 mZH;

- As planícies intermareais planas ocuparam praticamente a restante área, representando cerca de 69% da área total de estudo.

- A informação anterior quando conciliada com a análise sedimentar destes ambientes intermareais feita por Madeira (2012), permitiu relacionar uma proveniência marinha dos sedimentos do atual delta de enchente, bem como relacionar os sedimentos das áreas envolventes como resultantes de uma mistura de sedimentos transportados pelos canais Cais Comercial - Barra Faro-Olhão, Barra Faro-Olhão - Culatra, e com o Esteiro dos Cações.

- Os ambientes intermareais em estudo apresentaram por uma tendência geral de deposição definida por uma taxa média mensal da ordem dos 57,7 m³/mês

Na barra da Armona, o levantamento batimétrico efetuado em abril de 2010, permitiu concluir que:

- O ambiente intermareal em estudo representou uma área total de 451400 m², enquanto os PIP apresentaram uma área de 96600 m² (21,4%) e o DEBA uma área de 184000 m² (41%).

- Há semelhança de todos os restantes deltas de enchente, a delimitação do DEBA abrangeu todos os domínios intermareais, localizados imediatamente a montante da barra, definidos por várias formas de fundo (dunas e mega-dunas de enchente, dunas de vazante que erodiam parcialmente dunas de enchente, ambientes de *ripples* e de estrias de enchente);

- Os ambientes intermareais adjacentes ao DEBA apresentaram características texturais dos respetivos sedimentos, determinadas por Soares (2011), foi possível relacionar aqueles ambientes a antigos deltas de enchente associados a uma maior dimensão da Barra da Armona, no passado.

O levantamento de setembro de 2010 efetuado no ambiente intermareal do delta de enchente da Barra da Fuzeta, permitiu concluir que:

- O DEBF abrangeu uma área de 203200 m², ou seja, 24% da área total em estudo, tendo-se enquadrado nas batimetrias compreendidas entre os 0,2 mZH e os 1,4 mZH;

- Os restantes ambientes intermareais envolventes ao DEBF representaram 76% da área em estudo. Nestes ambientes também foram cartografadas várias frentes de progradação com orientações e morfologias que podem estar associadas a antigos deltas de enchente da Barra da Fuzeta, quando esta se encontrava numa posição mais a Poente, bem como à circulação hidrodinâmica (à data do levantamento batimétrico) que se faz ao longo do canal Barra da Fuzeta- Barra da Armona.

- As características texturais dos sedimentos superficiais quando conciliadas com as restantes informações (estruturas sedimentares e sentidos de fluxo, bem como com as frentes de progradação cartografadas e com o MDT), permitiram associar os ambientes intermareais periféricos ao DEBF situados imediatamente a SO, a antigos depósitos sedimentares de antigos deltas de enchente associados à barra da Fuzeta, quando esta se localizava numa posição mais a Poente da atual (numa posição frontal a esses registos sedimentares). Por se encontrarem numa posição mais periférica relativamente à entrada da barra da Fuzeta (na altura do levantamento batimétrico), apresentavam estruturas sedimentares de domínio da fase da vazante (na fase da baixa-mar), em oposição aos ambientes definidos pelo DEBF que apresentaram estruturas sedimentares de fundo tradutoras de um domínio da fase da enchente, dada a sua proximidade com a barra da Fuzeta.

Os dois levantamentos da área de estudo associada à Barra de Tavira, permitiram concluir que:

- A área de estudo apresentou uma superfície batimétrica muito plana, praticamente desprovida de grandes formas de fundo;

- A parte intermareal do DEBT apenas apresentou uma pequena expressão espacial na margem esquerda do canal Quatro-Águas/Barra Tavira, representada por uma área de 13370 m²;

- A parte intermareal do DEBT e ambientes envolventes, localizada na margem esquerda do canal Quatro-Águas – Barra Tavira, apresentou uma tendência de erosão, definida por uma taxa média mensal na ordem dos 291 m³/mês para toda a área de estudo. Esta tendência de erosão foi definida por uma taxa média de decréscimo mensal da batimetria da ordem dos 0,006 m/mês.

O levantamento batimétrico efetuado na barra do Lacém permitiu concluir que:

- O DEBL abrangeu uma área aproximadamente de 196800 m², que correspondeu a 41% de toda a área de estudo. Este ocupou as batimetrias compreendidas entre os 0,8 e os 2,3 mZH;

- Os restantes ambientes intermareais envolventes ao DEBL foram definidos por áreas de dunas de vazantete, áreas de ervas marinhas e camadas de vasa, correspondentes a antigos sapais, ocupando batimetrias compreendidas entre os 1,5 e os 3 mZH.

- De acordo com as características texturais dos sedimentos definidas por Brito (2012), quando conciliadas com as orientações das estruturas sedimentares e sentidos de fluxo associados, quando conciliadas com formas de fundo do MDT e pelos vários ambientes sedimentares periféricos permitiram inferir que os ambientes adjacentes ao atual DEBL, poderão ter correspondido a antigos DEBL associados à migração da barra de Poente para Nascente.

Como trabalhos futuros pretende-se dar continuidade à execução dos levantamentos batimétricos destes ambientes intermareais, mas também de outros bancos de areia dispostos ao longo dos canais principais da ria. No sentido de corrigir lacunas de informação existentes neste trabalho, que foram resultado da dificuldade de trabalhar num sistema costeiro tão grande e sob condições climatéricas e hidrodinâmicas por vezes adversas, e em resultado de problemas técnicos e logísticos surgidos no decurso deste trabalho, seria muito importante repetir: i) alguns dos levantamentos batimétricos, ii) a caracterização dos ambientes sedimentares, iii) o estudo de formas de fundo. Seria da maior importância, aplicar um conjunto de parâmetros hidrodinâmicos teórico-empíricos aos dados obtidos neste trabalho com a finalidade de quantificar o efeito que estas áreas intermareais têm na dissipação da propagação da onda de maré. Por fim, pretende-se proceder a um estudo comparativo dos resultados obtidos no âmbito da plataforma ArcGIS® com os resultados a serem obtidos por outros sistemas de informação geográfica.

7. BIBLIOGRAFIA

Abreu, A. & Machado, M. (2000) – Sedimentos e comunidades da Ria Formosa estado atual dos conhecimentos. Universidade do Algarve, Relatório final.

Andrade, C.F. (1990) – O Ambiente Barreira da Ria Formosa, Algarve – Portugal. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa, 627 p.

Bettencourt, P. (1994) – Les Environnements Sedimentaires de la Côte Sotavento (Algarve, Sud Portugal) et leur Évolution Holocène et Actuelle. University Bordeaux I, 130 p.

Brito, D. (2012) – Caracterização das variações espaciais das distribuições granulométricas dos sedimentos superficiais intermareais, do delta de enchente da Barra do Lacém e ambientes adjacentes. Universidade do Algarve, Projeto de final de curso.

Ceia, F. (2009) – Barrier-Islands Vulnerability and Ria Formosa Dynamics under a Management Viewpoint. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 9(1): 57-77.

Costa, M., Silva, R., Vitorino, J. (2001) – Contribuição para o estudo do clima de agitação marítima na costa Portuguesa, 2as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária in CD-ROM

Davis, R.(1978) – Coastal Sedimentary Environments. Springer-Verlag.

Department of the Army (1995) – Engineering and Design Coastal Geology. Department of the Army, U.S. Army Corps of Engineers Washington, DC 20314-1000, nº1110-2-1810.

Esaguy, A.S., 1984. Ria de Faro, Barra da Armona, Evolução 1873 - 1983. Relatório Interno da Direção Geral de Portos

Esaguy, A.S., 1985. Ria de Faro, Barra da Fuseta, Evolução 1944 – 1984. Relatório Interno da Direção Geral de Portos

Esaguy, A.S., 1986. Ria de Faro, Ilha do Ancão, Evolução 1950 – 1985. Relatório Interno da Direção Geral de Portos

Esaguy, A.S., 1986. Ria de Faro, Ilha de Tavira, Evolução 1950 – 1985. Relatório Interno da Direção Geral de Portos

Escoffier, F.F. (1940) - The stability of tidal inlets. *Shore Beach* 8, 114-115.

FitzGerald, D.M. (1996) - Geomorphic Variability and Morphologic and Sedimentologic Controls on Tidal Inlets. *Journal Coastal Resource* SI 23, 47-71.

FitzGerald, D.M., Kraus, N.C. and Hands, E.B. (2001) – Natural Mechanisms of Sediment Bypassing at Tidal Inlets. ERDC/CHL CHETN-IV30, U. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.

Fontolan, G., Pillon, S., Delli Quadri, F., Bezzi, A. (2007) – Sediment storage at tidal inlets in northern Adriatic lagoons: Ebb-tidal delta morphodynamics, conservation and sand use strategies. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 75: 261- 277.

ICN (2005) - Plano de Ordenamento do Parque Natural da Ria Formosa – Diagnóstico. Olhão

Kraus, N.C. and Rosati, J.D. (1998) – Estimation of Uncertainty in Coastal-Sediment Budgets at Inlets. *Coastal Engineering Technical Note* IV-16.

Madeira, F. (2012) – Caracterização das variações espaciais das distribuições granulométricas dos sedimentos superficiais, intermareais, dos bancos de areia do Parchal de São Francisco, da Ilha dos Tesos, da Vaza da Galé, do Banco do Berbigão e do delta de enchente da Barra Faro-Olhão. Universidade do Algarve, Projeto de final de curso

Mendonça, A. (2001) – Simulação da hidrodinâmica de maré na Ria Formosa com um modelo de elementos finitos. Instituto Superior Técnico, Relatório de apresentação do tema do trabalho de fim de curso

Newton, A. and Mudge, S.M. (2003) – Temperature and salinity regimes in a shallow, mesotidal lagoon, the Ria Formosa, Portugal. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 57:73-85

Pacheco, A. (2010) – Hydrodynamic and Sediment Fluxes through the Inlets of the Ria Formosa. Universidade do Algarve, Dissertação da tese de Doutoramento.

Pacheco, A., Carrasco, A.R., Vila-Concejo, A., Ferreira, Ó. & Dias, J.A. (2007) – A coastal management program for channels located in backbarrier systems. *Ocean & Coastal Management*, 50:119-143.

Pacheco, A., Vila-Concejo, A., Ferreira, Ó e Dias, J.A. (2008) – Assessment of tidal inlet evolution and stability using sediment budget computations and hydraulic parameter analysis. *Marine Geology*, 247:104-107.

Pacheco, A., Ferreira, Ó, Williams, J.J., Garel, E., Vila-Concejo, A. and Dias, J.A. (2010) – Hydrodynamics and equilibrium of a multiple-inlet system. *Marine Geology*, 274:32-42.

Pacheco, A., Williams, J.J., Ferreira, Ó, Garel, E. & Reynolds, S. (2011) – Applicability of sediment transport models to evaluate medium term evolution of tidal inlet systems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 95:119-134.

Pastor, J. (2012) - Caracterização granulométricas de sedimentos do delta de enchente da Barra de São Luís/Ancão do sistema lagunar da Ria Formosa. Universidade do Algarve, Projeto de final de curso

Pilkey, O.H., Neal, W.J., Monteiro, J.H., Dias, J.M.A. (1989) – Algarve Barrier Islands: a noncoastal-plain system in Portugal. *Journal of Coastal Research* 5:239-261.

Reineck, H.E. & Singh (1973) – Depositional Sedimentary Environments. Springer-Verlag

Rodrigues, A., Carvalho, A., Reia, J., Azevedo, B., Martins, C., Duarte, P., Serpa, D. & Falcão, M. (2005) – A Geographical Information System of Ria Formosa (South Coast of Portugal).

Salles, P. (2001) – Hydrodynamic controls on multiple tidal inlet persistence. Dissertação da tese de doutoramento, Massachusetts Institute of Technology and Woods Hole Oceanographic Institution

Salles, P., Voulgaris, G. and Aubrey, D. (2005) - Contribution of nonlinear mechanisms in the persistence of multiple tidal inlet systems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 65, 475- 491.

Silva, T. (2012) – Caracterização das variações espaciais das distribuições granulométricas dos sedimentos superficiais intermareais, do delta de enchente da Barra da Fuseta e ambientes adjacentes. Universidade do Algarve, Projeto de final de curso

Soares, J. (2011) – Caracterização das variações espaciais das distribuições granulométricas dos sedimentos superficiais intermareais, do delta de enchente da barra da Armona e ambientes adjacentes. Universidade do Algarve, Projeto de final de curso

Stauble, D. (1998) – Techniques for Measuring and Analysing Inlet Ebb Shoal Evolution. Coastal Engineering Technical Note IV-13, U.S. Army Engineer Water-ways Experiment Station, Vicksburg

Van Rijn, L.C. (1990) – Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas. Aqua publication

Van Rijn, L.C. (2007a) – Unified View of Sediment Transport by Currents and Waves. I: Initiation of Motion, Bed Roughness, and Bed-Load Transport. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*, Vol.133, No.6, p.649-667.

Vila-Concejo, A., Dias, J.M.A., Ferreira, Ó, Matias, A. (1999) – Natural evolution of an artificial inlet. Proceedings Coastal Sediments'99 Conference (New York, U.S.A., ASCE), 1479-1488

Vila-Concejo, A., Matias, A., Ferreira, Ó., Duarte, C. & Dias, J.A. (2002) – Recent evolution of the natural inlets of a barrier Island system in Southern Portugal. *Journal of Coastal Research*, SI36:741-752.

Vila-Concejo, A., Ferreira, Ó, Matias, A., Morris, B.D., Dias, J.A. (2004) – Lessons from inlet relocation: examples from Southern Portugal. *Coastal Engineering* 51 (10), 967-990.