



**Universidade do Algarve**

**Evolução espaço-temporal da batimetria dos principais  
canais da Ria Formosa recorrendo à aplicação de SIGs**

TIAGO MIGUEL PINA DAS DORES

Projeto para obtenção do  
Grau de Mestre em Geomática

**Trabalho realizado sob a orientação de:**  
Professor Doutor Duarte Nuno Ramos Duarte

2013



## **Declaração de autoria do trabalho**

Eu Tiago Miguel Pina das Dores declaro por minha honra ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

Copyright Tiago Dores. 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

A compreensão das alterações morfodinâmicas nos canais interiores do sistema lagunar da ria formosa é extremamente importante. Estes canais sustentam um conjunto de atividades económicas e garantem a ligação ao mar. desta forma um conhecimento dos processos hidrodinâmicos e tendências de propagação lateral destes canais garante que se possam efetuar operações de manutenção eficientes que garantem a continuidade atividades sócio-económicas. Pretende-se que os resultados obtidos durante o presente trabalho venham a contribuir para o conhecimento da hidrodinâmica do sistema lagunar e que possam ainda vir a servir de suporte para futuras decisões de gestão, dragagem e para futuros Planos de Gestão e Ordenamento do Parque Natural da Ria Formosa. No presente trabalho pretendeu-se quantificar variações batimétricas e dos volumes sedimentares, identificar tendências de meandrização dos canais principais e prever futuras alterações morfodinâmicas dos mesmos, tendo por base informação cartográfica e volumes dragados, com a aplicação de MDTs.

No troço de canal Cais Comercial – Barra Faro-Olhão, mais propriamente nos sectores C, D e E, referentes aos levantamentos batimétricos de 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2008 e 2010 foi possível identificar megadunas em fundos arenosos, que quando coadjuvadas com taxas médias anuais sedimentares muito elevadas, quer de erosão, quer de sedimentação, quando coadjuvadas com elevados volumes totais médios erodidos+sedimentados entre levantamentos, permitiram atribuir um hidrodinamismo muito elevado a estes sectores do canal em estudo.

Entre o canal do Cais Comercial – Barra Faro-Olhão e o canal Faro – Cais Comercial, foi possível relacionar a morfodinâmica destes canais, não só pelo facto de eles estarem relacionados fisiograficamente (estando em conectividade junto ao sapal da vasa da Galé), mas também por os volumes totais de sedimento em transporte (volumes de erosão+sedimentação) determinarem um gradiente longitudinal, com magnitudes inferiores para montante, que se terá relacionado com o decréscimo para montante do prisma de maré e conseqüentemente com um decréscimo no hidrodinamismo ao longo destes dois troços de canal.

**Palavras chave:** Ria Formosa, SIGs, MDTs, morfodinâmica, batimetria, Evolução espácio-temporal.

## **Abstract**

The understanding of the morphodynamics changes in the internal channels of the Ria Formosa lagoon system is extremely important.

These channels provide an interface to the sea and maintain a set of economic activities. Thus the knowledge of hydrodynamic processes and trends of lateral propagation of these channels ensures that they can perform maintenance operations to ensure efficient continuity of socio-economic activities.

It was intended that the results obtained during this study are likely to contribute to the knowledge of the lagoon system hydrodynamics and can also provide support for future management decisions, dredging and for future management and development plans for the Parque Natural da Ria Formosa.

In this study we sought to quantify bathymetric variations and sedimentary volumes, identify meandrization trends on the main channels and predict its future morphodynamics changes, based on cartography and dredged volumes, with the application of Digital Elevation Models.

In the channel section Cais Comercial - Faro-Olhão inlet, more specifically in the sectors C, D and E, relating to bathymetric surveys of 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2008 and 2010 were identified megadunas on sandy bottoms when corroborated with very high annual sedimentary average, either erosion or sedimentation, when corroborated with high average total volumes, eroded + sedimented, between surveys, allowed to assign a very high hydrodynamics to these sectors of the channel under study.

Among the channel's -Cais Comercial - Bar Faro-Olhão and channel Faro - Cais Comercial, it was possible to relate the morphodynamics of these channels, not only because they are physiographically related (being in connectivity along the marshes of the vasa Gale), but also by the total volumes of sediment transport (erosion + sediment volumes) determine longitudinal gradient, with lower magnitudes upstream, which will decrease related to the amount of the tidal prism, and consequently to a decrease in hydrodynamics over these two sections of channel.

**Key words:** Ria Formosa, GISs, DEMs, morphodynamics, bathymetry, spatial and temporal evolution.

## **Símbolos, Abreviaturas e Siglas**

E - Este

IPTM - Instituto Portuário e dos Transportes Marítimos

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

MDT – Modelo Digital de Terreno

N - Norte

NE - Nordeste

NO – Noroeste

O - Oeste

POOC - Plano de Ordenamento da Orla Costeira

SIG – Sistema de Informação Geográfica

S - Sul

SE – Sudeste

SO – Sudoeste

TMA – Taxas médias anuais

UAlg – Universidade do Algarve

ha – Hectares

m<sup>3</sup> – Metros cúbicos

m<sup>2</sup> – Metros quadrados

ZH – Zero Hidrográfico

# Índice

1. Introdução.....	13
1.1. Enquadramento.....	13
1.2 Enquadramento teórico.....	13
1.3. Importância do trabalho.....	14
1.4 Objetivos.....	15
1.5 Estado da arte.....	15
2. Caracterização da área de estudo.....	18
3. Métodos e Informação Utilizada.....	19
4. Apresentação de resultados e discussão.....	26
4.1. Zona Poente da zona de estudo.....	27
4.1.1. Troço Ramalhete – Ancão.....	27
4.1.2. Troço de canal Faro – Cais Comercial.....	36
4.2. Zona Nascente da área de estudo.....	41
4.2.1. Troço de canal Cais Comercial – Barra Faro-Olhão.....	41
4.2.2. Troço Ilha da Culatra – Ilha da Armona.....	63
4.2.3. Troço do Canal de Olhão.....	68
4.2.4. Troço de canal Olhão – ilha da Armona.....	72
5. Conclusões.....	77
6. Bibliografia.....	80
7. Apêndice A – Modelos digitais de terreno de levantamentos de diferentes anos no troço de canal Cais Comercial – barra Faro-Olhão.....	82

## Índice de figuras

Figura 1 - Área de Estudo. Parte Central e Poente do sistema lagunar da Ria Formosa. ....	19
Figura 2 - Zonas Nascente e Poente da Área de Estudo .....	21
Figura 3- Grelha de coordenadas utilizada na georreferenciação dos <i>rasters</i> .....	22
Figura 4 - Carta topo-batimétrica georreferenciada (sistema de coordenadas <i>Datum 73 Hayford Gauss IPCC</i> ). ....	22
Figura 5 - Pormenor do troço Faro - Cais Comercial (levantamento de 1970 - sistema de coordenadas <i>Datum 73 Hayford Gauss IPCC</i> ).....	23
Figura 6 - Pormenor de troço Faro - Cais Comercial (levantamento de 2003 - sistema de coordenadas <i>Datum 73 Hayford Gauss IPCC</i> ).....	24
Figura 7 - Representação esquemática da operação <i>cut and fill</i> . Neste exemplo consideraram-se a azul as zonas que sofreram erosão e a vermelho, as zonas que sofreram deposição.....	24
Figura 8 – Exemplo de zonas de Erosão (vermelho) / Sedimentação (verde) resultantes das operações <i>cut/fill</i> (sistema de coordenadas <i>Datum 73 Hayford Gauss IPCC</i> ). ....	24
Figura 9 - Divisão do troço Cais Comercial - Barra Faro-Olhão de acordo com os sectores adoptados. ....	26
Figura 10 – MDT do troço Faro – Ilha de Faro (levantamento de 1970 - sistema de coordenadas <i>Datum 73 Hayford Gauss IPCC</i> ).....	28
Figura 11 - MDT do troço Ramalhete - Ancão (levantamento de 2009 - sistema de coordenadas <i>Datum 73 Hayford Gauss IPCC</i> ).....	29
Figura 12 - Zonas de erosão/sedimentação/estabilidade do troço Ramalhete - Ancão, de acordo com classificação: >7.5cm áreas de sedimentação muito elevada; 5 a 7.5cm sedimentação elevada; 2.5 a 5cm sedimentação média; 1 a 2.5cm sedimentação baixa; 1 a -1cm estabilidade; -1 a -2.5cm erosão baixa; -2.5 a -5cm erosão média; -5 a -7.5cm erosão elevada; >-7.5cm erosão muito elevada (levantamentos de 1970 e 2009 - sistema de coordenadas <i>Datum 73 Hayford Gauss IPCC</i> ). ....	30
Figura 13 - Perfis longitudinais do canal do Ancão ( NO - SE). Eixo y - Profundidade (m). Eixo x - distância (m).....	31
Figura 14 - Perfis longitudinais do esteiro do Ramalhete ( NO - SE). Eixo y - Profundidade (m). Eixo x - distância (m). ....	32
Figura 15 – Perfis transversais do canal do Ancão, nas Zonas: a) Oeste, b) Este e c) Centro, referentes aos levantamentos topo-batimétricos de 1970 e de 2009 (distância eixo x; altimetria/batimetria eixo y). ....	33
Figura 16 – Direcção de migração das margens e zonas de erosão/sedimentação/estabilidade do troço Faro – Cais Comercial , de acordo com classificação: >7.5cm áreas de sedimentação muito elevada; 5 a 7.5cm sedimentação elevada; 2.5 a 5cm sedimentação média; 1 a 2.5cm sedimentação baixa; 1 a -	

1cm estabilidade; -1 a -2.5cm erosão baixa; -2.5 a -5cm erosão média; -5 a -7.5cm erosão elevada; >-7.5cm erosão muito elevada (levantamentos de 1970 e 2003).	34
Figura 17– Perfis transversais no canal do Ramalhete, nas Zonas: a) Oeste, b) Este e c) Centro, referentes aos levantamentos topo-batimétricos de 1970 e de 2009 (distância eixo x; altimetria/batimetria eixo y).	35
Figura 18– Direção de migração das margens e zonas de erosão/sedimentação/estabilidade do troço Faro – Cais Comercial , de acordo com classificação: >7.5cm áreas de sedimentação muito elevada; 5 a 7.5cm sedimentação elevada; 2.5 a 5cm sedimentação média; 1 a 2.5cm sedimentação baixa; 1 a -1cm estabilidade; -1 a -2.5cm erosão baixa; -2.5 a -5cm erosão média; -5 a -7.5cm erosão elevada; >-7.5cm erosão muito elevada (levantamentos de 1970 e 2003).	35
Figura 19 – MDT do troço Faro - Cais Comercial (levantamento de 1970 - sistema de coordenadas Datum 73 Hayford Gauss IPCC).	36
Figura 20 – MDT do troço Faro - Cais Comercial (levantamento de 2003 - sistema de coordenadas Datum 73 Hayford Gauss IPCC).	37
Figura 21 - Zonas de erosão/sedimentação/estabilidade do troço Faro – Cais Comercial , de acordo com classificação: >7.5cm áreas de sedimentação muito elevada; 5 a 7.5cm sedimentação elevada; 2.5 a 5cm sedimentação média; 1 a 2.5cm sedimentação baixa; 1 a -1cm estabilidade; -1 a -2.5cm erosão baixa; -2.5 a -5cm erosão média; -5 a -7.5cm erosão elevada; >-7.5cm erosão muito elevada (levantamentos de 1970 e 2003).	38
Figura 22 - Perfis transversais nos das Zonas: a) Oeste, b) Este e c) Centro, do canal Faro – Cais Comercial, referentes aos levantamentos topo-batimétricos de 1970 e de 2003 (distância eixo x; altimetria/batimetria eixo y).	40
Figura 23 - Zonas de erosão/sedimentação/estabilidade do troço Faro - Cais Comercial, de acordo com classificação: >7.5cm áreas de sedimentação muito elevada; 5 a 7.5cm sedimentação elevada; 2.5 a 5cm sedimentação média; 1 a 2.5cm sedimentação baixa; 1 a -1cm estabilidade; -1 a -2.5cm erosão baixa; -2.5 a -5cm erosão média; -5 a -7.5cm erosão elevada; >-7.5cm erosão muito elevada (levantamentos de 1970 e de 2003 - sistema de coordenadas Datum 73 Hayford Gauss IPCC).	40
Figura 24 - Troço Cais Comercial – barra Faro-Olhão (levantamento 1970 - sistema de coordenadas Datum 73 Hayford Gauss IPCC).	41
Figura 25 – MDT do troço Cais Comercial – barra Faro-Olhão (levantamento 2010 - sistema de coordenadas Datum 73 Hayford Gauss IPCC).	42
Figura 26 – Pormenor do MDT final do troço Cais Comercial - Barra Faro-Olhão onde se podem observar megadunas de fundo (levantamento 2010 - sistema de coordenadas Datum 73 Hayford Gauss IPCC).	43
Figura 27 - Zonas de erosão/sedimentação/estabilidade do troço Cais Comercial – barra Faro-Olhão , de acordo com classificação: >7.5cm áreas de sedimentação muito elevada; 5 a 7.5cm sedimentação elevada; 2.5 a 5cm sedimentação média; 1 a 2.5cm sedimentação baixa; 1 a -1cm estabilidade; -1 a -2.5cm erosão baixa; -2.5 a -5cm erosão média; -5 a -7.5cm erosão elevada; >-7.5cm erosão muito elevada (levantamentos de 1970 e de 2010 - sistema de coordenadas Datum 73 Hayford Gauss IPCC).	44

Figura 28 - Zonas de erosão/sedimentação/estabilidade do troço Faro – Cais Comercial , de acordo com classificação: >7.5cm áreas de sedimentação muito elevada; 5 a 7.5cm sedimentação elevada; 2.5 a 5cm sedimentação média; 1 a 2.5cm sedimentação baixa; 1 a -1cm estabilidade; -1 a -2.5cm erosão baixa; -2.5 a -5cm erosão média; -5 a -7.5cm erosão elevada; >-7.5cm erosão muito elevada (levantamentos de 2001 e de 2002 - sistema de coordenadas *Datum 73 Hayford Gauss* IPCC). ..... 47

Figura 29 - Zonas de erosão/sedimentação/estabilidade do troço Faro – Cais Comercial , de acordo com classificação: >7.5cm áreas de sedimentação muito elevada; 5 a 7.5cm sedimentação elevada; 2.5 a 5cm sedimentação média; 1 a 2.5cm sedimentação baixa; 1 a -1cm estabilidade; -1 a -2.5cm erosão baixa; -2.5 a -5cm erosão média; -5 a -7.5cm erosão elevada; >-7.5cm erosão muito elevada (levantamentos 2002 e de 2003 - sistema de coordenadas *Datum 73 Hayford Gauss* IPCC). ..... 48

Figura 30 - Zonas de erosão/sedimentação/estabilidade do troço Faro – Cais Comercial , de acordo com classificação: >7.5cm áreas de sedimentação muito elevada; 5 a 7.5cm sedimentação elevada; 2.5 a 5cm sedimentação média; 1 a 2.5cm sedimentação baixa; 1 a -1cm estabilidade; -1 a -2.5cm erosão baixa; -2.5 a -5cm erosão média; -5 a -7.5cm erosão elevada; >-7.5cm erosão muito elevada (levantamentos 2003 e de 2004 - sistema de coordenadas *Datum 73 Hayford Gauss* IPCC). ..... 50

Figura 31 - Zonas de erosão/sedimentação/estabilidade do troço Faro – Cais Comercial , de acordo com classificação: >7.5cm áreas de sedimentação muito elevada; 5 a 7.5cm sedimentação elevada; 2.5 a 5cm sedimentação média; 1 a 2.5cm sedimentação baixa; 1 a -1cm estabilidade; -1 a -2.5cm erosão baixa; -2.5 a -5cm erosão média; -5 a -7.5cm erosão elevada; >-7.5cm erosão muito elevada (levantamentos de 2004 e de 2005 - sistema de coordenadas *Datum 73 Hayford Gauss* IPCC). ..... 52

Figura 32- Zonas de erosão/sedimentação/estabilidade do troço Faro – Cais Comercial , de acordo com classificação: >7.5cm áreas de sedimentação muito elevada; 5 a 7.5cm sedimentação elevada; 2.5 a 5cm sedimentação média; 1 a 2.5cm sedimentação baixa; 1 a -1cm estabilidade; -1 a -2.5cm erosão baixa; -2.5 a -5cm erosão média; -5 a -7.5cm erosão elevada; >-7.5cm erosão muito elevada (levantamentos de 2005 e de 2006 - sistema de coordenadas *Datum 73 Hayford Gauss* IPCC). ..... 53

Figura 33 - Zonas de erosão/sedimentação/estabilidade do troço Faro – Cais Comercial , de acordo com classificação: >7.5cm áreas de sedimentação muito elevada; 5 a 7.5cm sedimentação elevada; 2.5 a 5cm sedimentação média; 1 a 2.5cm sedimentação baixa; 1 a -1cm estabilidade; -1 a -2.5cm erosão baixa; -2.5 a -5cm erosão média; -5 a -7.5cm erosão elevada; >-7.5cm erosão muito elevada (levantamentos de 2006 e de 2008 - sistema de coordenadas *Datum 73 Hayford Gauss* IPCC). ..... 55

Figura 34 - Zonas de erosão/sedimentação/estabilidade do troço Faro – Cais Comercial , de acordo com classificação: >7.5cm áreas de sedimentação muito elevada; 5 a 7.5cm sedimentação elevada; 2.5 a 5cm sedimentação média; 1 a 2.5cm sedimentação baixa; 1 a -1cm estabilidade; -1 a -2.5cm erosão baixa; -2.5 a -5cm erosão média; -5 a -7.5cm erosão elevada; >-7.5cm erosão muito elevada (levantamentos de 2008 e de 2010 - sistema de coordenadas *Datum 73 Hayford Gauss* IPCC). ..... 56

Figura 35 – Taxas médias anuais de sedimentação/erosão/estabilidade do troço de canal Cais Comercial – barra Faro-Olhão, de acordo com classificação adoptada com: >300000m<sup>3</sup>/ano (ou >7.5cm) áreas de sedimentação muito elevada; 300000 a 200000m<sup>3</sup>/ano (ou 7.5 a 5cm) ..... 58

Figura 36- Perfis transversais no sector A do troço Cais Comercial - barra Faro-Olhão referentes aos levantamentos de 1970, de 2001, de 2004 e de 2010. .... 60

Figura 37 - Perfis transversais no sector B do troço Cais Comercial - barra Faro-Olhão referentes aos levantamentos de 1970, de 2001, de 2004 e de 2010. ....	60
Figura 38 - Perfis transversais no sector C do troço Cais Comercial - barra Faro-Olhão referentes aos levantamentos de 1970, de 2001, de 2004 e de 2010. ....	61
Figura 39 - Perfis transversais no sector D do troço Cais Comercial - barra Faro-Olhão referentes aos levantamentos de 1970, de 2001, de 2004 e de 2010. ....	61
Figura 40 - Perfis transversais no sector E do troço Cais Comercial - barra Faro-Olhão referentes aos levantamentos de 1970, de 2001, de 2004 e de 2010. ....	62
Figura 41 - Tendências de variação lateral das margens do canal Cais Comercial – barra Faro-Olhão, determinadas com base na análise dos perfis batimétricos transversais realizados nos levantamentos de 1970, de 2001, 2004 e de 2010. ....	63
Figura 42 – MDT do troço Ilha da Culatra - Armona (levantamento de 1970 - sistema de coordenadas <i>Datum 73 Hayford Gauss IPCC</i> ).....	64
Figura 43 - MDT do troço Ilha da Culatra - Armona (levantamento de 2009 - sistema de coordenadas <i>Datum 73 Hayford Gauss IPCC</i> ).....	65
Figura 44 - Zonas de erosão/sedimentação/estabilidade do troço Ilha da Culatra - Ilha da Armona , de acordo com classificação: >7.5cm áreas de sedimentação muito elevada; 5 a 7.5cm sedimentação elevada; 2.5 a 5cm sedimentação média; 1 a 2.5cm sedimentação baixa; 1 a -1cm estabilidade; -1 a -2.5cm erosão baixa; -2.5 a -5cm erosão média; -5 a -7.5cm erosão elevada; >-7.5cm erosão muito elevada (levantamentos de 1970 e de 2009 - sistema de coordenadas <i>Datum 73 Hayford Gauss IPCC</i> ). ....	66
Figura 45 - Perfis transversais nos das Zonas: a) Oeste, b) Este e c) Centro, do canal Ilha da Culatra – Ilha da Armona e referentes aos levantamentos topo-batimétricos de 1970 e de 2009.....	67
Figura 46 - MDT do troço Canal de Olhão (levantamento de 1970 - sistema de coordenadas <i>Datum 73 Hayford Gauss IPCC</i> ).....	68
Figura 47 - MDT do troço Canal de Olhão (levantamento de 2003 - sistema de coordenadas <i>Datum 73 Hayford Gauss IPCC</i> ).....	69
Figura 48 - Zonas de erosão/sedimentação/estabilidade do troço Canal de Olhão , de acordo com classificação: >7.5cm áreas de sedimentação muito elevada; 5 a 7.5cm sedimentação elevada; 2.5 a 5cm sedimentação média; 1 a 2.5cm sedimentação baixa; 1 a -1cm estabili .....	70
Figura 49 - Perfis transversais nos das Zonas: a) Oeste, b) Este e c) Centro, do canal de Olhão, referentes aos levantamentos topo-batimétricos de 1970 e de 2003. ....	71
Figura 50 – MDT do troço Canal de Olhão - Ilha da Armona (levantamento de 1970 - sistema de coordenadas <i>Datum 73 Hayford Gauss IPCC</i> ). ....	72
Figura 51 - MDT do troço Canal de Olhão - Ilha da Armona (levantamento de 2000 - sistema de coordenadas <i>Datum 73 Hayford Gauss IPCC</i> ). ....	73

Figura 52 - Zonas de erosão/sedimentação/estabilidade do trecho Canal de Olhão - Ilha da Armona , de acordo com classificação: >7.5cm áreas de sedimentação muito elevada; 5 a 7.5cm sedimentação elevada; 2.5 a 5cm sedimentação média; 1 a 2.5cm sedimentação baixa;..... 74

Figura 53 - Perfis transversais nos das Zonas: a) Oeste, b) Este e c) Centro, do canal de Olhão Ilha da Armona, referentes aos levantamentos topo-batimétricos de 1970 e de 2000. .... 76

Quadro 1- Datas dos levantamentos utilizados para os diferentes canais de navegação	20
Quadro 2- Divisão dos canais segundo categorias.....	20
Quadro 3 - Divisão dos troços por zonas.....	20
Quadro 4 - Balanço sedimentar troço Ramalhete – Ancão, resultante da comparação dos levantamentos de 1970 e 2009 (sem contabilizar os volumes dragados em 1998-1999).....	31
Quadro 5 - Balanço sedimentar no troço Faro – Cais Comercial, resultante da comparação dos levantamentos de 1970 e de 2003 (não contabilizando volumes dragados). ....	39
Quadro 6 - Balanço sedimentar troço Cais Comercial - Barra Faro-Olhão, resultante da comparação dos levantamentos de 1970 e de 2009 (contabilizando e não contabilizando os volumes dragados entre 1977 e 2005).....	45
Quadro 7 - Dragagens no troço Cais Comercial - Barra Faro-Olhão entre 1977 e 2005. Informação gentilmente cedida pelo IPTM. ....	45
Quadro 8 - Balanço sedimentar troço Cais Comercial - Barra Faro-Olhão, resultante da comparação dos levantamentos de 2001 – 2002.....	48
Quadro 9 - Balanço sedimentar troço Cais Comercial - Barra Faro-Olhão, resultante da comparação dos levantamentos de 2002 – 2003.....	49
Quadro 10 - Balanço sedimentar no troço de canal Cais Comercial - Barra Faro-Olhão, resultante da comparação dos levantamentos de 2003 – 2004. ....	51
Quadro 11 - Balanço sedimentar troço Cais Comercial - Barra Faro-Olhão, resultante da comparação dos levantamentos de 2004 – 2005.....	53
Quadro 12- Balanço sedimentar troço Cais Comercial - Barra Faro-Olhão, resultante da comparação dos levantamentos de 2005 – 2006.....	54
Quadro 13 - Balanço sedimentar troço Cais Comercial - Barra Faro-Olhão, resultante da comparação dos levantamentos de 2006 – 2008.....	56
Quadro 14 - Balanço sedimentar troço Cais Comercial - Barra Faro-Olhão, resultante da comparação dos levantamentos de 2008 – 2010 (não foram realizados trabalhos de dragagem). ....	57
Quadro 15 - Média dos volumes sedimentares do troço Cais Comercial - Barra Faro-Olhão, resultante da comparação de todos os levantamentos entre 2001 – 2010 (sem contabilizar os volumes dragados) .....	59
Quadro 16 - Balanço sedimentar troço Ilha da Culatra - Ilha da Armona, resultante da comparação dos levantamentos de 1970 – 2009 (sem contabilizar os volumes dragados). ....	66
Quadro 17 - Balanço sedimentar troço canal de Olhão, resultante da comparação dos levantamentos de 1970 – 2003 (sem contabilizar os volumes dragados em 1998-99). ....	71
Quadro 18- Balanço sedimentar troço canal de Olhão - Ilha da Armona, resultante da comparação dos levantamentos de 1970 – 2000 (sem contabilizar os volumes dragados). ....	75

## **1. Introdução**

### **1.1. Enquadramento**

Este trabalho foi realizado no âmbito da disciplina de “Plano Dissertação, Projeto ou Estágio” do segundo ciclo do mestrado em Geomática, ramo Análise de Sistemas Ambientais, que decorreu na Universidade do Algarve (UAlg). Enquadrou-se num projeto de investigação a decorrer na UAlg, o projeto MaréFormosa – Estudo da Propagação e da Dissipação da Onda de Maré na Ria Formosa (Portugal).

### **1.2 Enquadramento teórico**

A designação de sistemas de informação geográfica (SIG) é aplicada para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos. Devido à sua ampla gama de aplicações há pelo menos três grandes maneiras de utilizar um SIG:

- como ferramenta para produção de mapas;
- como suporte para análise espacial de fenómenos;
- como uma base de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial.

Para a obtenção de resultados parte-se da transformação de informação de dados reais em dados digitais. Toda a informação cartográfica é passível de ser utilizada em ambiente SIG. Desta forma, após a obtenção de informação matricial, através da digitalização de mapas procede-se à sua georreferenciação. Este processo possibilita que os novos dados digitais, criados a partir de mapas, coincidam com o local que eles representam, ou seja, que a cada informação digital introduzida no SIG corresponda uma coordenada geográfica desse mesmo local na Terra.

Através dos dados matriciais obtidos são criados os dados vectoriais necessários para a criação de mapas temáticos e modelos digitais de terreno (MDT). A informação vectorial é representada por pontos, linhas ou polígonos em que cada uma dessas representações tem associada uma tabela de atributos. Essas tabelas contêm as informações respeitantes às características físicas dessas representações.

Segundo Weibel *et al.* (1991), os modelos digitais de terreno são um importante componente dos SIG e são usados recentemente, entre outros, para análise 3D. Os MDT permitem modelar, analisar e exibir fenômenos relacionados com topografia ou outras superfícies. Os modelos digitais de terreno criados são a base para a extração de informação sobre informações relativas aos terrenos e seus atributos, como declives, rede de drenagem, orientações entre outros.

Para o desenvolvimento do trabalho os MDTs criados têm como base malhas não estruturadas de triângulos irregulares adjacentes. Estas malhas são geradas segundo o métodos de triangulação de Delaune. A triangulação de Delaune está diretamente relacionada com os polígonos de Voronoi. Estes polígonos dividem o domínio em polígonos irregulares. Cada um deste polígonos contém no seu interior um dos pontos levantados no terreno, pertencente ao conjunto de dados inicial. Os vértices do polígono são os circuncentros dos triângulos que partilham um vértice comum.

A triangulação feita por este método tem a vantagem de gerar triângulos o mais equiláteros possível e a malha obtida é única e independente da ordem pela qual os triângulos são gerados. As discontinuidades são tratadas como uma forma natural, contudo não podem existir dois pontos com as mesmas coordenadas.

Através de operações de álgebra de mapas é possível obter informações sobre alterações morfológicas ocorridas num determinado local ao longo do tempo. Essas operações permitem-nos também calcular, entre outros, áreas e volumes de sedimentação/erosão num determinado local.

### **1.3. Importância do trabalho**

A morfodinâmica dos canais principais localizados no interior da ria encontra-se atualmente pouco entendida. O conhecimento das macro formas de fundo, das variações temporais batimétricas e das tendências de meandrização deste canais, carece de mais estudos. Com este trabalho pretende-se contribuir para o conhecimento científico relativo à morfodinâmica dos principais canais da Ria Formosa. Pretende-se identificar tendências de

meandrização, quantificar variações batimétricas e volumes sedimentares erodidos ou depositados.

Esta informação poderá também servir de base para complementar projetos em curso e para calibrar modelos que carecem de informação cartográfica e morfodinâmica de base, relativa aos canais interiores.

Pretende-se ainda que os resultados obtidos venham a contribuir para o conhecimento da hidrodinâmica do sistema lagunar e que possam ainda vir a servir de suporte para futuras decisões de gestão, como por exemplo para o planeamento de futuros trabalhos de dragagem e para futuros Planos de Gestão e Ordenamento do Parque Natural da Ria Formosa.

#### **1.4 Objetivos**

O estudo da evolução espaço-temporal dos principais canais deste sistema lagunar surge com o objetivo de comparar e relacionar a morfodinâmica dos principais canais com base em diferentes levantamentos topo-batimétricos realizados em diferentes períodos temporais e com base em informação hidrográfica.

Recorrendo a Sistemas de Informação Geográfica (SIG) pretende-se identificar tendências de meandrização, quantificar variações batimétricas e volumes de sedimento erodidos ou depositados, tendo por base informação cartográfica obtida em diferentes períodos temporais nos principais canais e volumes sedimentares dragados. Pretende-se também aplicar modelos digitais de terreno (MDT) para caracterizar superfícies topo-batimétricas, bem como tentar prever futuras alterações morfodinâmicas.

#### **1.5 Estado da arte**

A Ria Formosa é caracterizada por um sistema de ilhas barreira cuja génese e evolução estão diretamente relacionadas com alterações significantes no nível médio das águas do mar, nomeadamente resultante de processos de glaciares e interglaciares. Estudos realizados por Granja (1984), Pilkey *et al.* (1989) e Andrade (1990) apresentam resultados consentâneos referindo que a evolução actual deste sistema de ilhas barreira depende do equilíbrio entre processos de deriva litoral, fornecimento sedimentar e da energia das marés e correntes que penetram no sistema através das barras de maré existentes.

A formação das ilhas barreira ocorre junto a linhas de costa pouco sinuosas, que se encontram frequentemente submersas, sendo esta resultante da evolução da evolução superfície continental em direção ao mar.

Segundo Pilkey *et al.* (1989), A Ria Formosa é do ponto de vista morfológico um caso particular, dadas as suas características atípicas, nomeadamente a sua localização adjacente a uma costa escarpada de relevo médio, a existência de ilhas barreira com amplitudes de maré elevadas e o facto das margens interiores das ilhas barreira sofrerem modificações significativas devido à erosão provocada pelas marés vivas. Por conseguinte a formação deste sistema de ilhas barreira poderá estar relacionada, segundo Pilkey *et al.* com a existência de uma plataforma de baixa profundidade limitada por uma escarpa declivosa ou uma protuberância no interior da plataforma continental.

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.*, 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). As barras de maré existentes na Ria Formosa apresentam uma elevada dinâmica, acompanhando o sentido Oeste – Este da deriva longilitoral até atingirem uma posição limite e subsequente assoreamento. Desta forma por ação dos galgamentos oceânicos novas barras são originadas a poente da barra assoreada reiniciando o ciclo.

No entanto as barras de Faro-Olhão, Tavira e Armona são exceções. As primeiras porque se encontram estabilizadas artificialmente devido a intervenção humana e a barra da Armona que segundo Vicente e Clímaco (1995) se tem mantido sensivelmente no mesmo lugar, apesar da diminuição da sua largura, devido essencialmente ao crescimento da ilha da culatra para leste.

Segundo Teles e Barata (1997), a artificialização da Barra Faro-Olhão induziu alterações importantes na morfologia do litoral circundante, bem como nos padrões de

escoamento intra-lagunares, em consequência de captura do prisma de maré, de bloqueio da deriva litoral e da erosão induzida pelas fortes correntes de maré.

O sistema de escoamento da Ria Formosa caracteriza-se, segundo Vicente e Clímaco (1995) por canais de maré com profundidade, secção transversal e organização muito variáveis de local para local. O principal sistema de escoamento, que domina a organização da restante rede de drenagem, é representado por longos e largos canais, ativos em qualquer momento do ciclo de maré, que asseguram a ligação às barras. No global esta rede primária ocupa a maioria absoluta do domínio submareal intra-lagunar. Além desta rede primária de drenagem o sistema lagunar é composto por uma rede secundária de menor envergadura que une uma intrincada rede de pequenos canais terciários aos canais de escoamento primários. Para leste da Barra da Armona o sistema de circulação simplifica-se, adaptando-se à geometria marcadamente unidimensional da laguna.

Quanto ao estado dos conhecimentos sobre a evolução morfodinâmica dos principais canais de escoamento existem estudos realizados por Pacheco *et al.* (2006) e LNEC (2010 e 2001) associados às operações de dragagem. Devido ao movimento frequente de navios de grande calado para o porto de Faro foram necessárias operações de dragagem para garantir a segurança da navegabilidade do canal. Segundo Pacheco *et al.* (2003) estas operações de dragagem associadas a excessivas extrações de areia e à evolução natural do canal causaram o alargamento do mesmo em toda a sua extensão aumentando a tendência natural de migração do eixo do canal para Este. Consequentemente a acentuada migração e alargamento do canal provocou um aumento significativo da sua largura e corrente existente observando-se mudanças ainda mais significativas junto à Barra Faro-Olhão, no fim do canal.

Existem, no entanto diversos estudos na mesma área do conhecimento que se focam principalmente a morfodinâmica das barras de maré ou no sistema de ilhas barreira. Destes trabalhos salientam-se Pacheco (2010) que relaciona a migração morfodinâmica das barras com as marés e a deriva longilitoral e outros trabalhos realizados por Salles *et al.* (2005), Arnaud-Fassetta *et al.* (2006) Vila-Concejo *et al.* (2003), Vila-Concejo *et al.* (2006), Picado *et al.* (2010), Pacheco *et al.* (2011).

## 2. Caracterização da área de estudo

A Ria Formosa é um sistema de ilhas barreira com múltiplas barras de maré localizado no Sul de Portugal (figura 1). Este é constituído por cinco ilhas e duas penínsulas, separadas por seis barras de maré: duas relocizadas artificialmente - barras do Ancão e Fuseta; duas criadas e estabilizadas artificialmente - Barras de Faro-Olhão e Tavira; e duas barras naturais - barras da Armona e Lacém - (Andrade, 1990).

Analisando a evolução histórica desde o século XIV observa-se que, embora o sistema tenha respondido 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). As marés apresentam um regime semi-diurno com alturas médias de baixa-mar na de 1.3m e 2.8m de preia-mar. Nas marés vivas equinociais podem-se atingir alturas máximas de 3.5m ou até superiores a 3.8m se ocorrer sobre-elevação da maré associada a sistemas de baixa pressão atmosférica.

O sistema lagunar da Ria Formosa é fundamentalmente constituído por extensas zonas de sapal, por intrincados canais de maré, planícies intermareais e praias de laguna (dunas internas). O sapal ocupa a zona superior do domínio intermareal e é caracterizado por condições hidrodinâmicas de baixa energia e colonizado principalmente por espécies de vegetação holófitas, cuja presença depende da natureza do substrato e do tempo de submersão (Andrade, 1990). As zonas de sapal têm morfologias bastante diversificadas sendo a sua superfície essencialmente composta por sedimentos de natureza vasosa, encontrando-se ladeados por canais de maré e planícies intermareais. Estes canais de maré permitem a circulação de água por toda a zona lagunar (sendo esta mais complexa na zona ocidental, associado a um sistema de canais mais intrincados), e têm fundos geralmente planos e profundidades muito variáveis (Andrade, 1990). A profundidade dos principais canais também é muito variável, verificando-se as maiores profundidades junto à entrada das barras e nos canais balizados. Segundo Abreu & Machado (2000) as planícies intermareais estabelecem ligação entre as zonas de sapal e os canais de maré e são compostos por fundos intermareais de forma aplanada ou ligeiramente ondulada desprovidos de vegetação halófitas. Por fim, as praias de laguna situam-se nas zonas interiores dos sapais e planícies intermareais e resultam da acumulação de sedimento trazido pelas correntes de enchente Abreu & Machado (2000).

A área que vai ser analisada cinge-se aos canais de navegação principais e secundários, definidos no Plano de Ordenamento da Orla Costeira (artigo 26) da parte Oeste do sistema lagunar (figura 1). Os canais de navegação foram organizados por troços e a sua análise será feita através da comparação de levantamentos de diferentes datas para cada troço.



Figura 1 - Área de Estudo. Parte Central e Poente do sistema lagunar da Ria Formosa.

### 3. Métodos e Informação Utilizada

Para compreender as alterações morfodinâmicas ocorridas nos canais interiores do sistema lagunar procedeu-se à comparação de informação batimétrica de levantamentos cartográficos realizados entre 1968 e 2010 cedidos pelo Instituto Portuário e dos Transportes Marítimos (IPTM). O levantamento realizado entre 1968 e 1973 será referido como levantamento de 1970. A quantidade de levantamentos utilizados foi no entanto inferior à pretendida devido à indisponibilidade desses dados. Foram também cedidos pelo IPTM ortofotomapas datados de 2005 referentes à área de estudo que foram usados como base da cartografia temática.

Quadro 1- Datas dos levantamentos utilizados para os diferentes canais de navegação

Canais de Navegação	Levantamentos Utilizados				
	1970	2009			
Canal do Ancão	1970	2009			
Canal Faro - Ilha de Faro ( Esteiro do Ramalhete)	1970	2009			
Canal Faro - Cais Comercial	1970	2003			
Canal Cais Comercial - Barra Faro - Olhão	1970	2001-2006	2008	2010	
Canal Ilha da Culatra - Ilha da Armona	1970	2009			
Canal Olhão - Ilha da Armona	1970	2001			
Canal Olhão	1970	2003			

Para se poder efetuar um estudo da evolução morfodinâmica mais preciso será necessário completar este estudo com alguns levantamentos que tenham sido efetuados entre 1970 e 2000. Como indicado no quadro 1 existe uma lacuna de informação correspondente a um período de trinta anos o que impossibilita uma análise das alterações morfodinâmicas e o estudo das tendências de meandrização de uma forma mais precisa. Para isso seria necessário ter pelo menos um levantamento da década de 80 e outro da década de 90 de forma compreender processos intermédios que tenham levado à situação atual.

Quadro 2- Divisão dos canais segundo categorias

Canais de Navegação	Categoria
Canal do Ancão	Secundário
Canal Faro - Ilha de Faro ( Esteiro do Ramalhete)	Secundário
Canal Faro - Cais Comercial	Secundário
Canal Cais Comercial - Barra Faro - Olhão	Principal
Canal Ilha da Culatra - Ilha da Armona	Secundário
Canal Olhão - Ilha da Armona	Secundário
Canal Olhão	Principal

Devido ao facto de ter sido disponibilizada maior quantidade de levantamentos no canal Cais Comercial – Barra Faro – Olhão será efetuado um estudo mais detalhado deste troço.

Quadro 3 - Divisão dos troços por zonas

Troços	Zona
Ramalhete - Ancão	Poente
Faro - Cais Comercial	Poente
Cais Comercial - Barra Faro - Olhão	Nascente
Ilha da Culatra - Ilha da Armona	Nascente
Olhão - Ilha da Armona	Nascente
Olhão	Nascente

Os canais de navegação em estudo podem ser divididos em canais principais e secundários (figura 1 e quadro 2) segundo definição Plano de Ordenamento da Orla Costeira (POOC) (artigo 26º) e foram agrupados em troços em divididos por zonas (quadro 3 e figura 2).



Figura 2 - Zonas Nascente e Poente da Área de Estudo

Os levantamentos obtidos eram na sua maioria digitalizações das cartas topobatemétricas disponibilizadas em formato *raster*. Estes ficheiros continham apenas informação sobre o valor do pixel e não se encontravam georreferenciados. Desta forma, para se poder criar informação vectorial foi em primeiro lugar necessário georreferenciar as cartas. Para isso foi necessário criar grelhas de pontos em diferentes sistemas de coordenadas pois estes não eram os mesmos para todas as cartas disponibilizadas. Nestas grelhas cada ponto apresentado representa uma coordenada geográfica (figura 3). Para a criação de todas as *shapefiles* foi usado o programa *ArcCatalog* 9.3 e para a georreferenciação das cartas topobatemétricas utilizou-se a ferramenta *georeferencig* do programa *ArcGis®* 9.3. Para todas as operações vectoriais, álgebra de mapas e criação de mapas foi utilizado o *ArcScene* 9.3 e as extensões *spatial analyst* e *3d analyst* do *ArcGis®* 9.3. As informações cartográficas e mapas temáticos estão apresentados no sistema de coordenadas *Datum 73 Hayford Gauss IPCC*.



Figura 3- Grelha de coordenadas utilizada na georreferenciação dos *rasters*.

Para georreferenciar as cartas topo-batimétricas fez-se coincidir as coordenadas representadas na carta com as respectivas coordenadas da grelha criada. Foram utilizados pelo menos 6 pontos de controlo para a georreferenciação de forma a atingir erros mínimos de transformação. Desta forma as cartas topo-batimétricas passaram a ocupar a sua posição geográfica real (figura 4).

Após a georreferenciação das cartas procedeu-se à criação de dados vetoriais. Estes dados representam, neste caso, as linhas isobatimétricas e pontos cotados existentes nas cartas. A cada ponto e cada linha está associada uma Quadro de atributos referindo, entre outros, as coordenadas geográficas e a cota. As informações de cota foram sempre introduzidas relativamente ao Zero Hidrográfico (ZH), ou seja, todos os pontos cotados e isolinhas possuem valores negativos se, se encontrarem abaixo do Zero hidrográfico e são considerados batimetria, e valores positivos se estiverem acima deste, considerados altimetria.

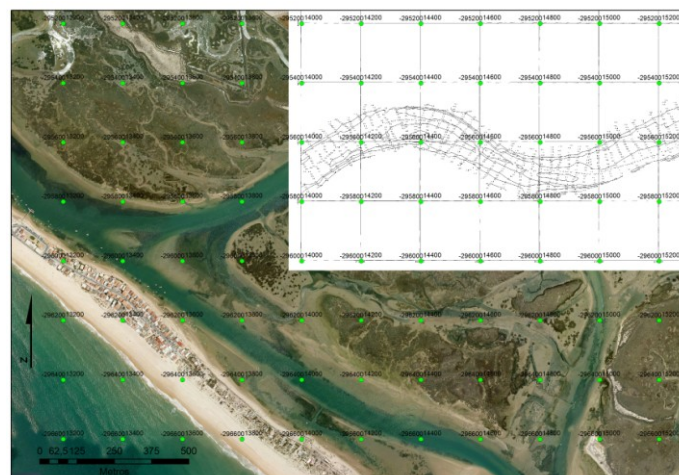


Figura 4 - Carta topo-batimétrica georreferenciada (sistema de coordenadas *Datum 73 Hayford Gauss IPCC*).

Criada toda a informação vectorial procedeu-se à criação de modelos digitais de terreno. Estes modelos permitem modelar, analisar e exibir fenómenos relacionados com topografia e batimetria dos canais em estudo.

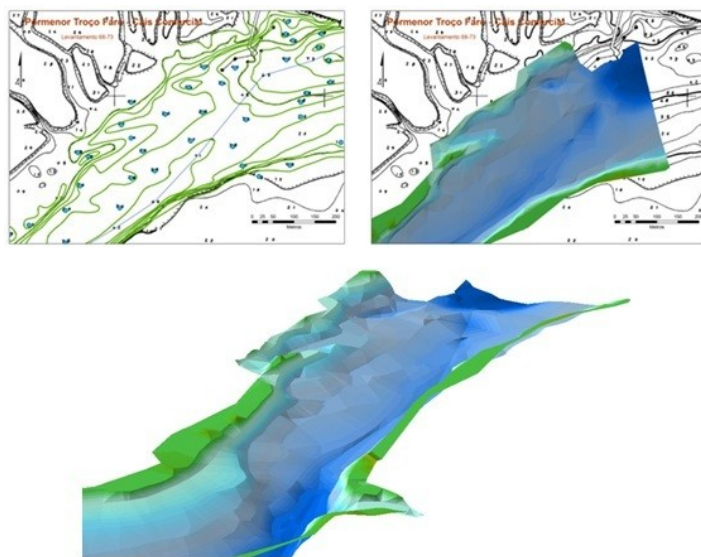


Figura 5 - Pormenor do troço Faro - Cais Comercial (levantamento de 1970 - sistema de coordenadas *Datum 73 Hayford Gauss IPCC*).

Para a criação dos MDT foram criadas áreas de corte para que apenas fosse apresentada a informação topo-batimétrica existente nos levantamentos de anos diferentes. Assim os troços de canal analisados são sempre os mesmos independentemente do ano do levantamento cartográfico. Desta forma não foram contempladas as áreas em que existem lacunas de informação evitando-se que, aquando da análise das áreas de erosão/sedimentação/estabilidade, existam resultados incorretos gerados pelas operações de álgebra de mapas.

Nas figuras 5 e 6 estão representados exemplos dos resultados obtidos após a criação de dados vectoriais extraídos da cartografia. Pelo facto de a cartografia de 1970 possuir um numero muito inferior de pontos cotados que o levantamento de 2003, o resultado final é um modelo digital menos detalhado e com informação menos precisa quando comparado com o modelo obtido do levantamento de 2003, como pode ser observado nas figuras.

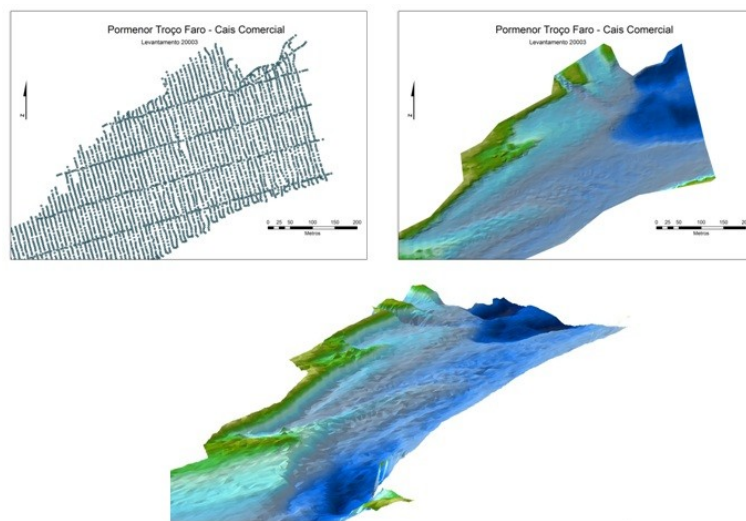


Figura 6 - Pormenor de troço Faro - Cais Comercial (levantamento de 2003 - sistema de coordenadas *Datum 73 Hayford Gauss IPCC*).

Com a criação de modelos digitais de terreno dos diferentes levantamentos é possível calcular áreas e volumes. Através da sobreposição de MDT, recorrendo a operações de álgebra de mapas (figura 7) o software calcula áreas e volumes das zonas sedimentadas e erodidas.

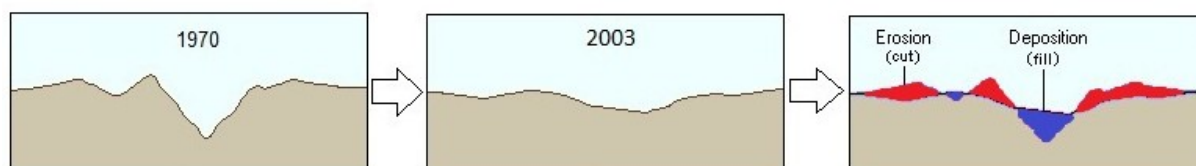


Figura 7 - Representação esquemática da operação *cut and fill*. Neste exemplo consideraram-se a azul as zonas que sofreram erosão e a vermelho, as zonas que sofreram deposição

Desta forma, o resultado final corresponde a um mapa que permite constatar quais as zonas que sofreram erosão, sedimentação ou permaneceram inalteradas (estabilidade) (figura 8).

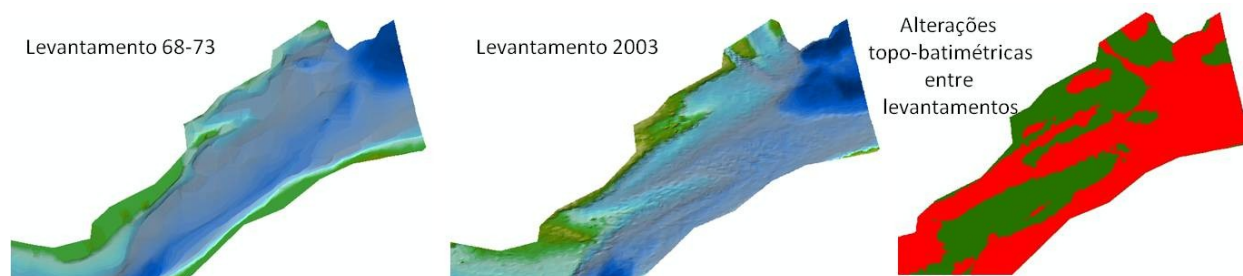


Figura 8 – Exemplo de zonas de Erosão (vermelho) / Sedimentação (verde) resultantes das operações *cut/fill* (sistema de coordenadas *Datum 73 Hayford Gauss IPCC*).

No âmbito deste trabalho, considerou-se que as resultantes da sobreposição de dois MDTs referentes a dois levantamentos topo-batimétricos de períodos diferentes, cujas variações de volumes sedimentares de “cut” e de “fill” (ou seja de erosão e de sedimentação, respectivamente), quando divididos pela área total em estudo, permitiram definir áreas definidas por variações batimétricas médias:

- superiores a 7.5 cm, como correspondendo a áreas que sofreram uma sedimentação muito elevada;
- compreendidas entre os 5 e os 7.5cm, como correspondendo a áreas que sofreram uma sedimentação elevada;
- compreendidas entre os 2.5 e os 5cm, como correspondendo a áreas que sofreram uma sedimentação média;
- compreendidas entre os 1 e os 2.5cm, como correspondendo a áreas de sedimentação baixa;
- compreendidas entre os -1cm e os 1cm, como correspondendo a áreas que permaneceram praticamente inalteradas (ou de áreas de estabilidade);
- compreendidas entre os -1 e os -2.5cm, como correspondendo a áreas que sofreram uma erosão baixa;
- compreendidas entre os -2.5 e os -5cm, como correspondendo a áreas que sofreram uma erosão média;
- compreendidas entre os -5 e os -7.5cm, como correspondendo a áreas que sofreram uma erosão elevada;
- superiores a -7.5cm, como correspondendo a áreas que sofreram uma erosão muito elevada.

Para o caso específico do troço Cais Comercial – Barra Faro Olhão, uma vez que se possuía um maior número de levantamentos foi efetuada uma análise mais detalhada.

O Troço foi dividido em cinco sectores (figura 9) em que em cada sector o troço apresenta fisiografia e orientação semelhantes ou tendências sedimentares distintas. Desta forma além da comparação entre levantamentos de anos diferentes para todo o troço efetuou-se também o estudo das alterações de erosão/sedimentação/estabilidade para cada sector. Nestes sectores foram também analisados perfis transversais de forma a analisar a evolução morfodinâmica e deslocação do eixo do canal.

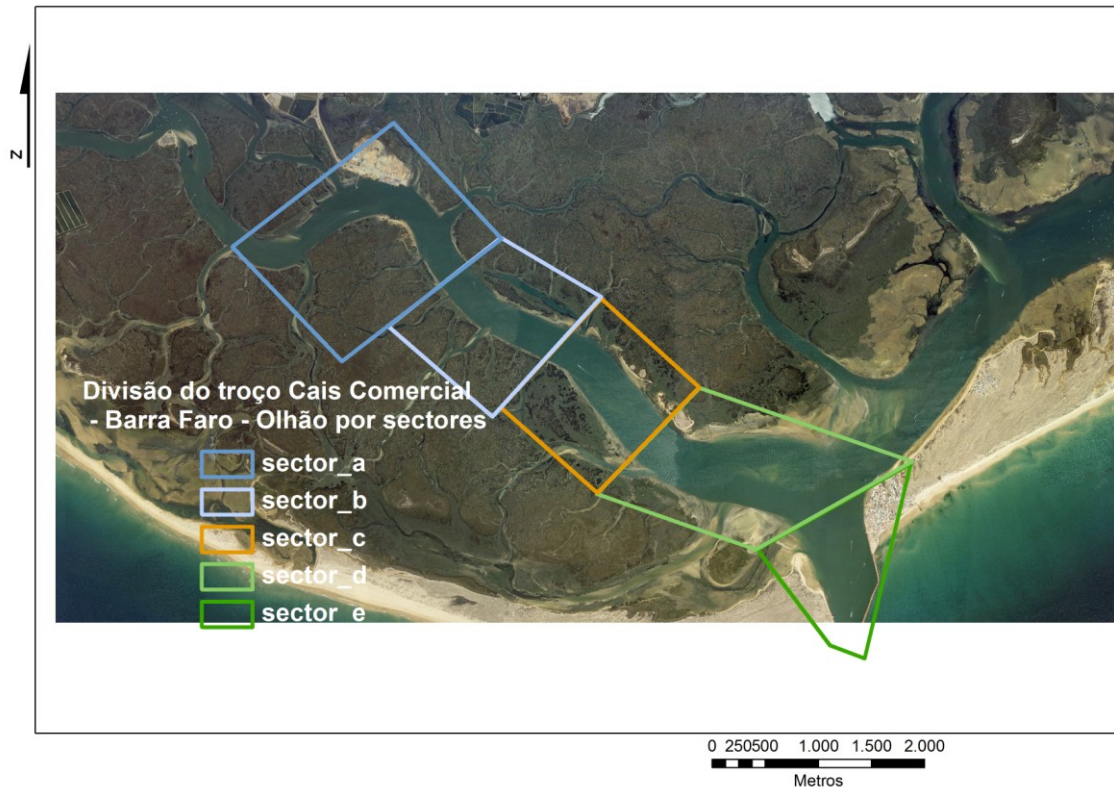


Figura 9 - Divisão do troço Cais Comercial - Barra Faro-Olhão de acordo com os sectores adoptados.

Os valores de erosão / sedimentação obtidos pelas operações de álgebra de mapas foram confrontados com as informações cedidas pelo IPTM relativas aos volumes dragados e com os dados do relatório 3, 3ª fase do LNEC (2011). O IPTM apenas disponibilizou estes volumes para o troço Cais Comercial – Barra Faro-Olhão pelo que os restantes troços serão também comparados com os dados do relatório 3, 3ª fase do LNEC (2011). Relativamente ao troço Cais Comercial – Barra Faro-Olhão os valores obtidos de erosão / sedimentação foram confrontados com resultados obtidos por Pacheco *et al.* (2006) e com os dados do relatório 2, 1ª e 2ª fase do LNEC (2010).

#### 4. Apresentação de resultados e discussão

No presente trabalho a apresentação e discussão dos dados obtidos encontra-se dividida nas zonas poente e nascente do área de estudo e é feita segundo os troços dos canais principais, ou seja canais de navegação.

## **4.1. Zona Poente da zona de estudo**

### **4.1.1. Troço Ramalhete – Ancão**

Foram utilizados os modelos digitais de terreno com informação topo-batimétrica obtidos através do levantamento de 1970 (figura 10) e do levantamento de 2009 (figura 11).

A figura 10 teve por base um ortofotomapa de 2005 e apresenta um modelo digital de terreno relativo à variação batimétrica no troço de canal Ramalhete – Ancão para o ano de 1970. Este troço está classificado como canal de navegação secundário. O MDT definiu uma profundidade máxima de -7.8 m localizada no extremo norte do troço na zona de interligação com o troço Faro – Cais Comercial, e uma altitude máxima de 4 m.

O canal do Ancão ostentava uma orientação Noroeste (NO) – Sudeste (SE) e um comprimento aproximado de 6.15 km. Este canal apresentava uma parte central mais profunda e com largura que assegurava a navegação até à intercepção com o esteiro do Ramalhete. Desde esta intercepção até ao extremo SE, o canal apresentava uma batimetria irregular e pouco profunda, sem uma parte central bem definida. Apenas na sua extremidade Este, volta a ostentar batimetrias mais profundas que coincidem com a posição da barra do Ancão, que no levantamento em questão se encontrava a nascente da posição indicada pelo ortofotomapa. O Esteiro do Ramalhete apresenta uma orientação Este (E) – Oeste (O) e um comprimento aproximado de 4.3 km. Este canal apresenta uma parte central pouco profunda com largura que assegura a navegação até ao seu extremo E onde adquire a zona mais profunda de todo o troço.

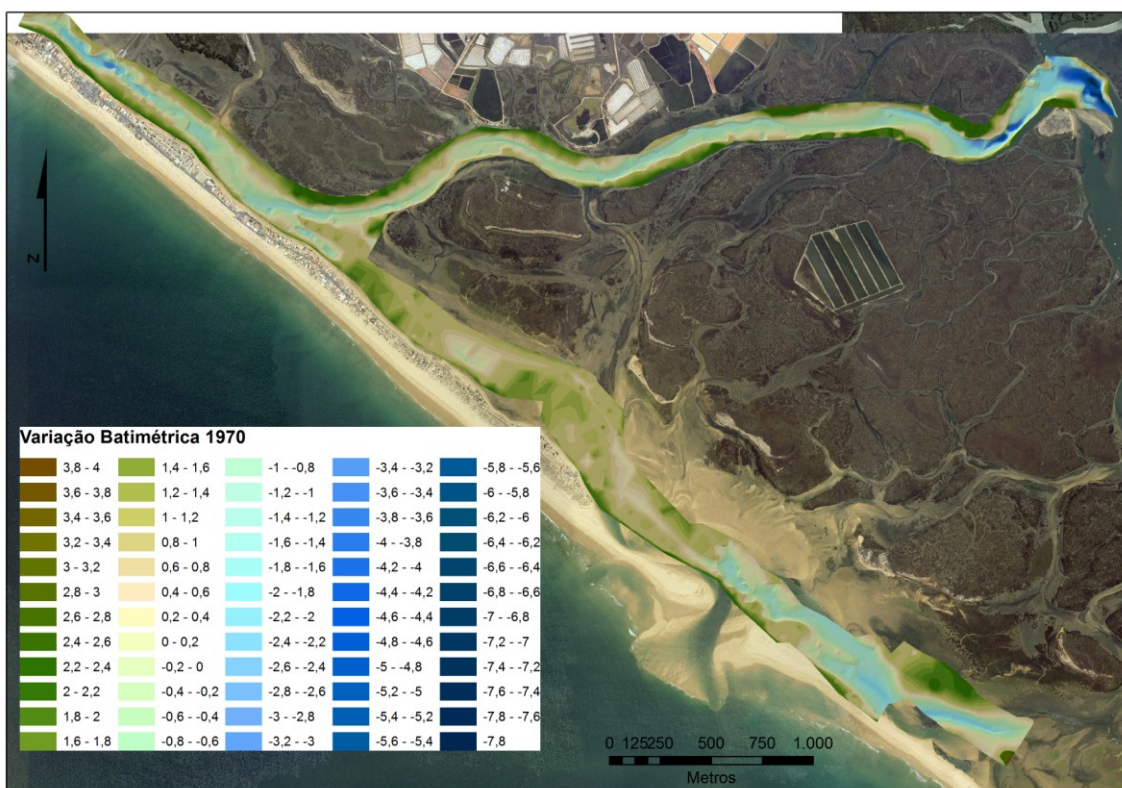


Figura 10 – MDT do troço Faro – Ilha de Faro (levantamento de 1970 - sistema de coordenadas *Datum 73 Hayford Gauss IPCC*).

A figura 11 tem como base um ortofotomapa de 2005 e tem nele representado um modelo digital de terreno relativo à variação batimétrica no troço em análise, para o ano de 2009. O respectivo MDT ostentou uma profundidade máxima de -7.9 m localizada no extremo norte do troço (na zona de interligação com o troço Faro – Cais Comercial), e uma altitude máxima de 2.8 m. O canal do Ancão apresentou uma orientação Noroeste (NO) – Sudeste (SE) e um comprimento aproximado de 6.15 km. Este canal apresentou uma parte central mais profunda, e com largura regular que assegurava a navegação até à proximidade da barra do Ancão, onde ficava o canal, mais estreito e menos profundo. A barra do Ancão encontrava-se em 2009 também a nascente da posição indicada pelo ortofotomapa. O Esteiro do Ramalhete apresentava uma orientação Este (E) – Oeste (O) e um comprimento aproximado de 4.3 km. Este canal apresentava uma parte central profunda, definida por uma largura que assegurava a navegação durante todo o troço de canal, apesar de no seu extremo Oeste reduzir significativamente a sua largura (junto à interceção com o canal do Ancão).

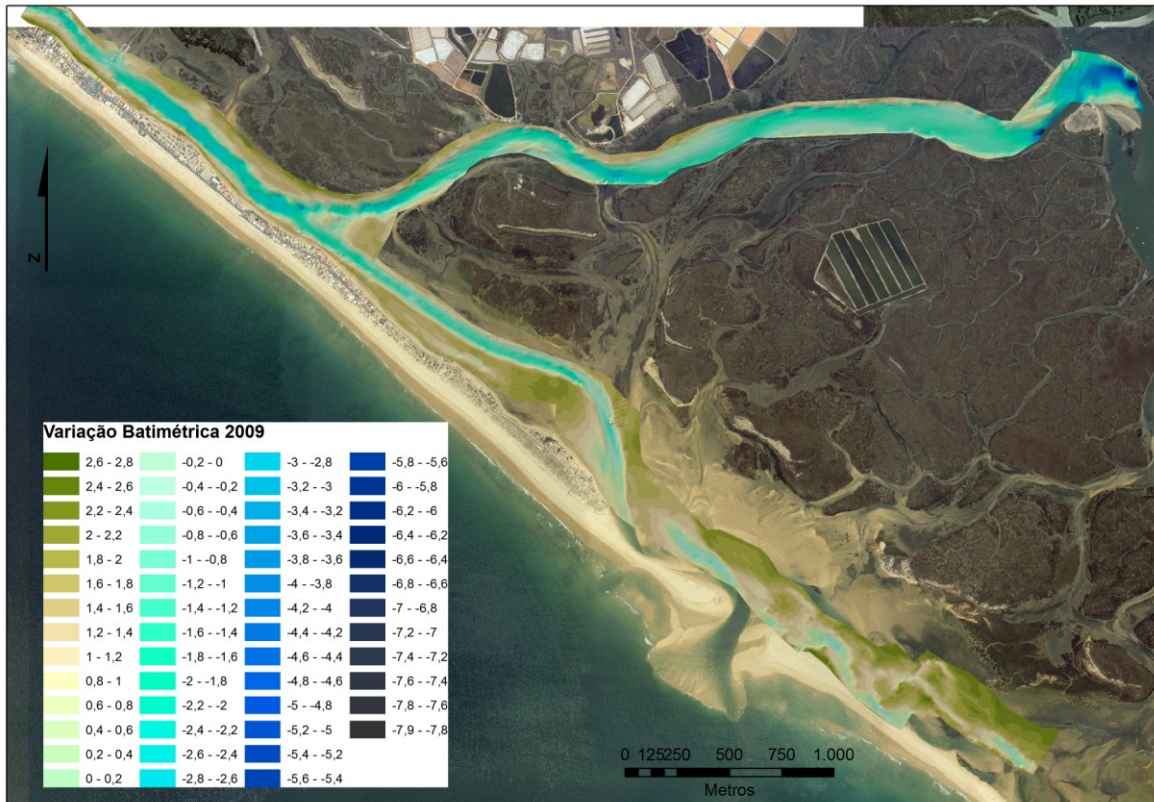


Figura 11 - MDT do troço Ramalhete - Ancão (levantamento de 2009 - sistema de coordenadas *Datum 73 Hayford Gauss IPCC*).

Quando sobrepostos os MDTs dos levantamentos 1970 e 2009 recorrendo à função *Cut and Fill*, e efetuados os cálculos das alterações batimétrica existentes referentes ao canal no canal do Ramalhete – Ancão, constatou-se que as áreas erodidas representam aproximadamente 97.5 hectares (47% do total) e as áreas sedimentadas 110 hectares (53%).

Na figura 12 observaram-se que as áreas erodidas localizam-se na zona mais ao centro do canal apresentando contornos retilíneos e regulares balizados pelas suas margens. Estes contornos indicam ter sido resultado de trabalhos de dragagem ocorridos nos anos 1998-2000.

A exceção a este comportamento é o troço compreendido entre o delta de enchente da barra de São Luís, e o troço situado a nascente desta barra, correspondente ao esteiro do Mar Santo (figura 12) - segmento com aproximadamente 2.5 km. Este segmento, independentemente dos trabalhos de dragagem realizados apresenta forte tendência de sedimentação uma vez que as áreas dragadas foram claramente colmatadas pelos processos de assoreamento. Estes processos resultam do movimento natural de migração da barra de S. Luís, que se apresenta o sentido poente – nascente (Ceia, 2009). No período compreendido entre 1950-1985, foi no ano 1978 que esta barra atingiu a localização mais a poente (Esaguy, 1986). Os volumes erodidos neste troço foram aproximadamente de  $-1246290\text{m}^3$  e os

volumes sedimentados foram de 1145863 m<sup>3</sup> existindo um balanço sedimentar negativo de -100427 m<sup>3</sup> (Quadro 4). Porém estes volumes não contabilizaram os volumes sedimentares dragados nos trabalhos de 1998-1999 para este local, por não se ter tido acesso a esta informação.

Durante o período compreendido entre 1970 e 2009 estimou-se uma taxa de erosão de aproximadamente -2575 m<sup>3</sup>/ano representando um aumento de profundidade média de cerca 1 mm/ano, uma altura média de sedimentação de 1.04 m e uma altura média de erosão de 1.28 m. Estes resultados favoráveis à erosão, estão sobre estimados na media em que não está incluídos os volumes das dragagens realizadas na campanha 1998-2000.

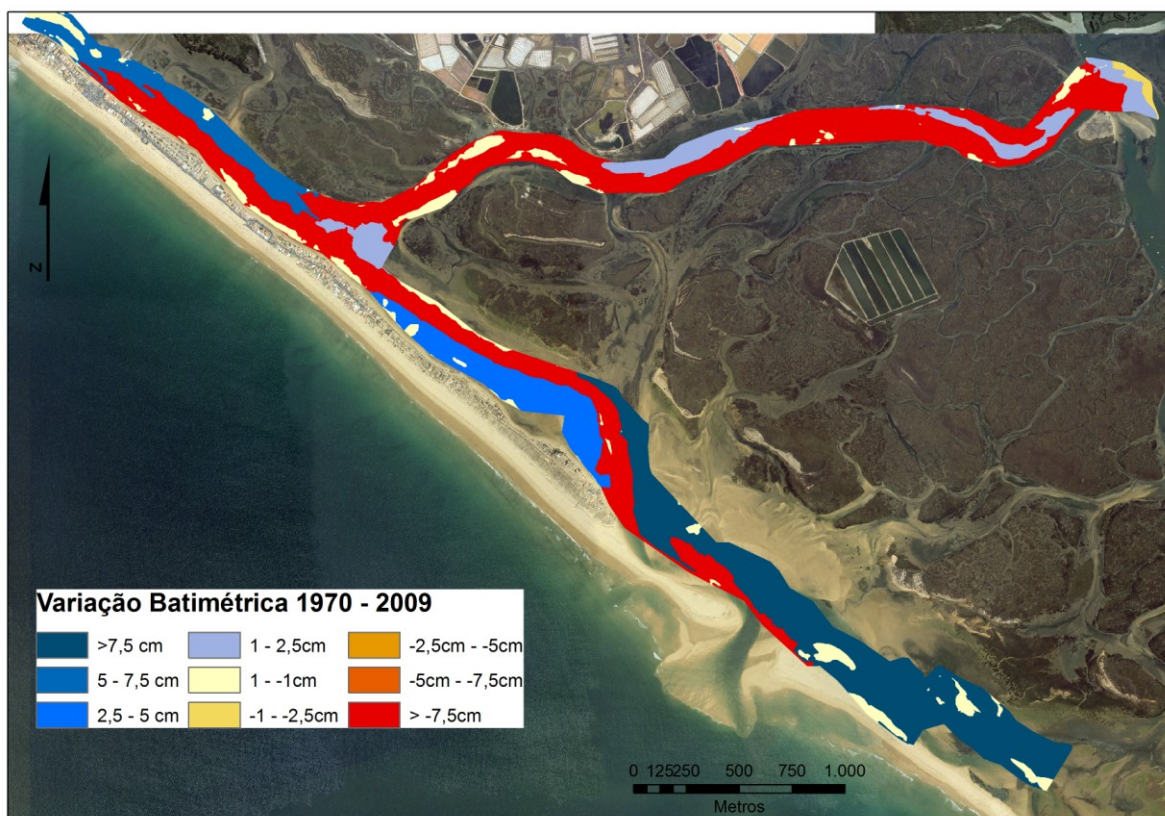


Figura 12 - Zonas de erosão/sedimentação/estabilidade do trecho Ramalhete - Ancão, de acordo com classificação: >7.5cm áreas de sedimentação muito elevada; 5 a 7.5cm sedimentação elevada; 2.5 a 5cm sedimentação média; 1 a 2.5cm sedimentação baixa; 1 a -1cm estabilidade; -1 a -2.5cm erosão baixa; -2.5 a -5cm erosão média; -5 a -7.5cm erosão elevada; >-7.5cm erosão muito elevada (levantamentos de 1970 e 2009 - sistema de coordenadas *Datum 73 Hayford Gauss IPCC*).

Os dados do Relatório 3 (3ª Fase) do LNEC (2011) referem-se a uma comparação de cartas topo-batimétricas dos levantamentos do ano 1980 e 2011. Nesse relatório analisam uma área de aproximadamente 250 hectares (mais 42 hectares que o presente estudo) com um

balanço sedimentar negativo de cerca  $-645000 \text{ m}^3$  (mais  $545000 \text{ m}^3$  que o presente estudo). Apresentam uma variação de cota média de  $-0.26 \text{ m}$  contra os  $-0.15 \text{ m}$  obtidos entre 1970 – 2009. Esta diferenças parecem indicar ter havido uma tendência de assoreamento generalizada durante a década de 70 (para compensar a diferença de volumes contabilizados).

Quadro 4 - Balanço sedimentar trecho Ramalhete – Ancão, resultante da comparação dos levantamentos de 1970 e 2009 (sem contabilizar os volumes dragados em 1998-1999)

	Canal Ramalhete - Ancão (1970 - 2009)			
	Vol.sedim.(m3)	Areas (m2)	Batim.(m)	% Areas
Acessão	1145863	1102140	1.04	0.53
Erosão	-1246290	975952	-1.28	0.47
Total	2392152	2078092		
Meses	468			
Resultante s/ Drag.(m3)	-100427			
Taxa Med.Anual s/ Drag.(m3/ano)	-2575		-0.001	
Taxas s/ Drag.(m3/mês)	-215			
Taxas s/ Drag.(m3/mês/m2)	0.000			
taxas s/ Drag.(m3/dia)	-7			
Dragagens (m3)	?			

### Análise longitudinal dos canais dos Ancão e do Ramalhete

Nas Figuras 13 e 14 estão representados os perfis longitudinais do canal do Ancão e esteiro do Ramalhete.

Relativamente ao canal do Ancão, constatou-se uma variação média de profundidade da ordem dos  $0.16 \text{ m}$  contra os  $-1.40 \text{ m}$  apresentados pelo LNEC (2011).

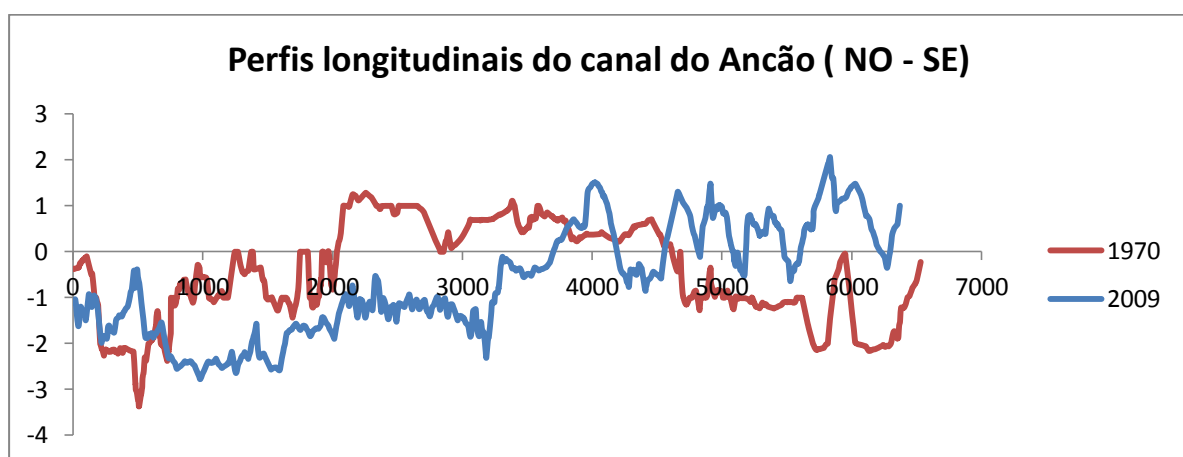


Figura 13 - Perfis longitudinais do canal do Ancão ( NO - SE). Eixo y - Profundidade (m). Eixo x - distância (m).

No canal do Ramalhete constatou-se uma variação média de profundidade de -31cm contra os -200cm apresentados pelo LNEC.

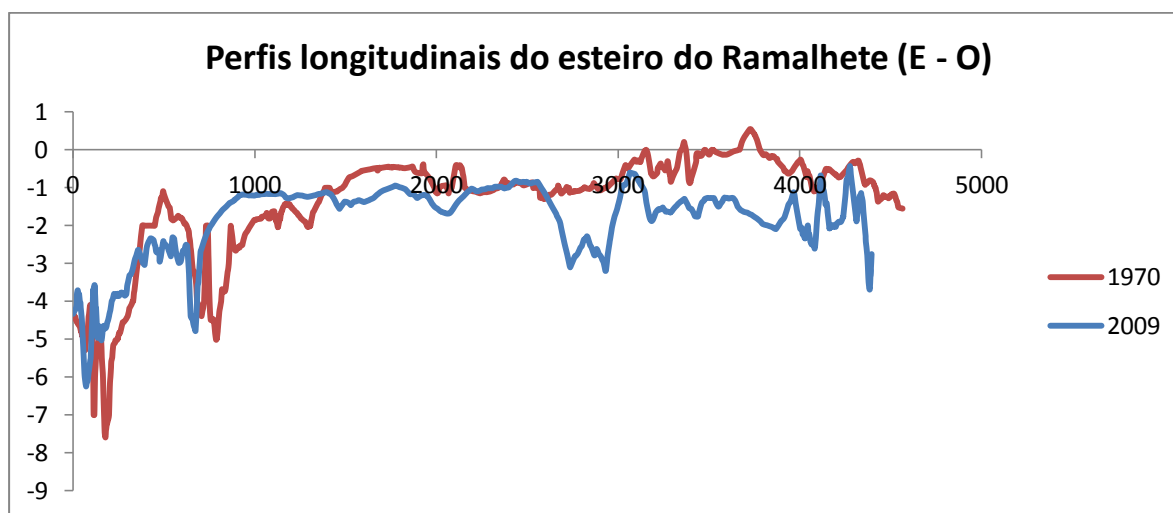


Figura 14 - Perfis longitudinais do esteiro do Ramalhete ( NO - SE). Eixo y - Profundidade (m). Eixo x - distância (m).

Relativamente às discrepâncias entre os resultados obtidos nas figuras 13 e 14 e os resultados obtidos pelo LNEC importa realçar que os dados do LNEC não contemplam o período compreendido entre 1970 e 1980, mas sim entre 1980 e 2011 resultando numa análise comparativa diferente. Porém o balanço sedimentar resultante destas duas análises apresenta uma diferença da ordem dos  $545000\text{m}^3$  de sedimento, que poderão representar os volumes dragados entre 1998-1999. A diferença constatada na batimetria média entre -26cm do LNEC (2011) e -15cm deste trabalho refletem a razão entre o suposto volume dragado e a área total. Estas diferenças podem indicar uma tendência generalizada de sedimentação na década de 70 devido ao facto do ter um lapso temporal de 10 anos entre 1970 e 1980.

Seria da maior importância poder comparar o levantamento de 1970 com o levantamento de 1980 neste para contabilizar a tendência de sedimentação deste troço associado à migração natural da barra do Ancão.

#### **Análise das secções transversais dos canais do Ancão e do Ramalhete**

Quando projectados e comparados os perfis transversais definidos para o canal do Ancão (figura 15), com uma disposição espacial de acordo com a figura 16, para os levantamentos de 1970 e de 2003, foi possível determinar que:

- os perfis transversais ao canal localizados no Sector Oeste (figura 16) definiram uma tendência de propagação lateral no sentido da margem Oeste, fundamentado no gradiente temporal das linhas de perfil batimétricos;

- nas zonas Centro e Oeste, verificou-se ter ocorrido um constrangimento da largura da secção transversal do canal, em resultado de tendências de propagação da margem Este para Oeste, e *vice versa*, de acordo com a figura 16.

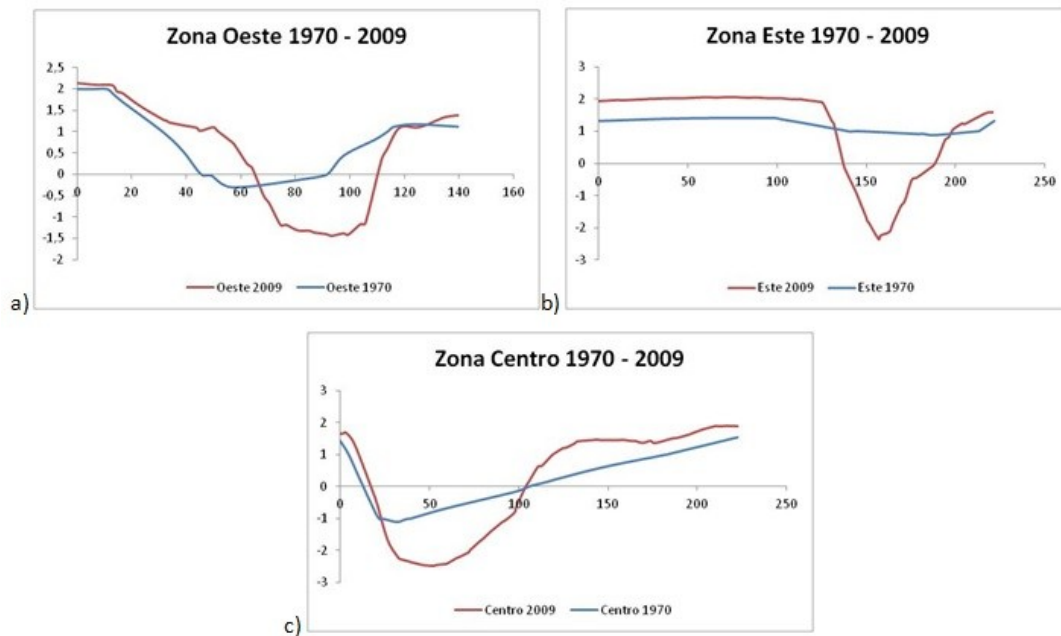


Figura 15 – Perfis transversais do canal do Ancão, nas Zonas: a) Oeste, b) Este e c) Centro, referentes aos levantamentos topo-batimétricos de 1970 e de 2009 (distância eixo x; altimetria/batimetria eixo y).

Tudo indica que estas tendências de variação espacial dos canais poderão manter-se no futuro próximo, caso as condições hidrodinâmicas dos canais não sejam alteradas, por exemplo com recurso a dragagens ou à construção de infraestruturas de fixação dos canais, entre outras.

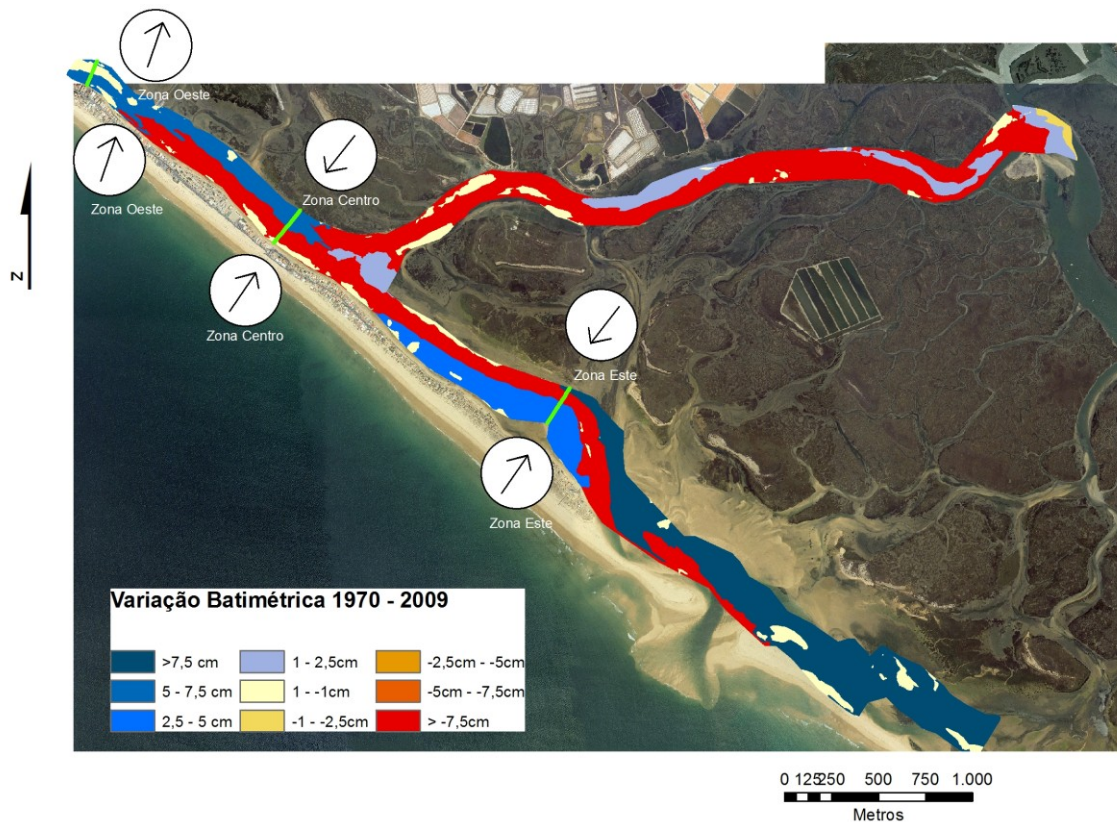


Figura 16 – Direcção de migração das margens e zonas de erosão/sedimentação/estabilidade do troço Faro – Cais Comercial, de acordo com classificação: >7.5cm áreas de sedimentação muito elevada; 5 a 7.5cm sedimentação elevada; 2.5 a 5cm sedimentação média; 1 a 2.5cm sedimentação baixa; 1 a -1cm estabilidade; -1 a -2.5cm erosão baixa; -2.5 a -5cm erosão média; -5 a -7.5cm erosão elevada; >-7.5cm erosão muito elevada (levantamentos de 1970 e 2003).

No canal do Ramalhete, quando projectados e comparados os perfis transversais (figura 17) definidos com uma disposição espacial de acordo com a figura 18, para os levantamentos de 1970 e de 2003, foi possível determinar que:

- os sectores Oeste e Centro, apresentaram tendências de meandrização respectivamente para N e para S, fundamentadas em gradientes temporais das linhas de perfil batimétricos, de acordo com as figura 17.a.c e 18;

- enquanto à análise dos perfis do sector Este (figura 17.b), permitiram definir tendências de erosão de ambas as margem, com a margem Norte a definir uma tendência de migração no sentido N e a margem S uma tendência de migração no sentido S.

As tendências de migração espacial definidas para os vários segmentos deste canal, poderão manter-se no futuro próximo, caso as condições hidrodinâmicas dos canais não sejam alteradas antropicamente.

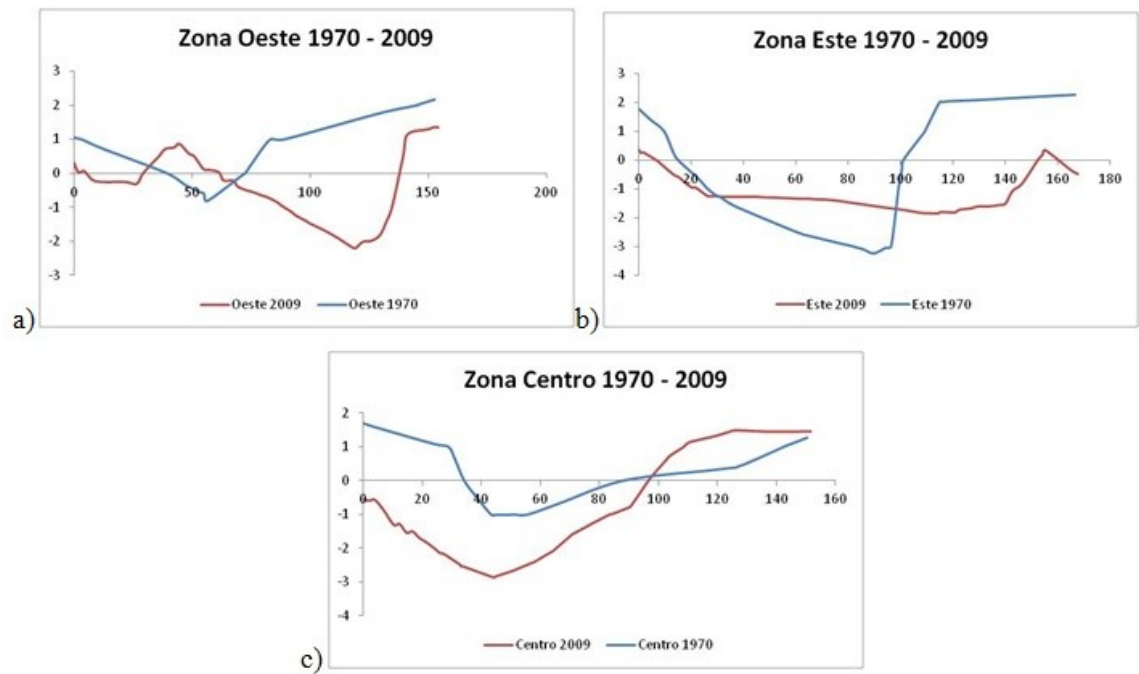


Figura 17– Perfis transversais no canal do Ramalhete, nas Zonas: a) Oeste, b) Este e c) Centro, referentes aos levantamentos topo-batimétricos de 1970 e de 2009 (distância eixo x; altimetria/batimetria eixo y).

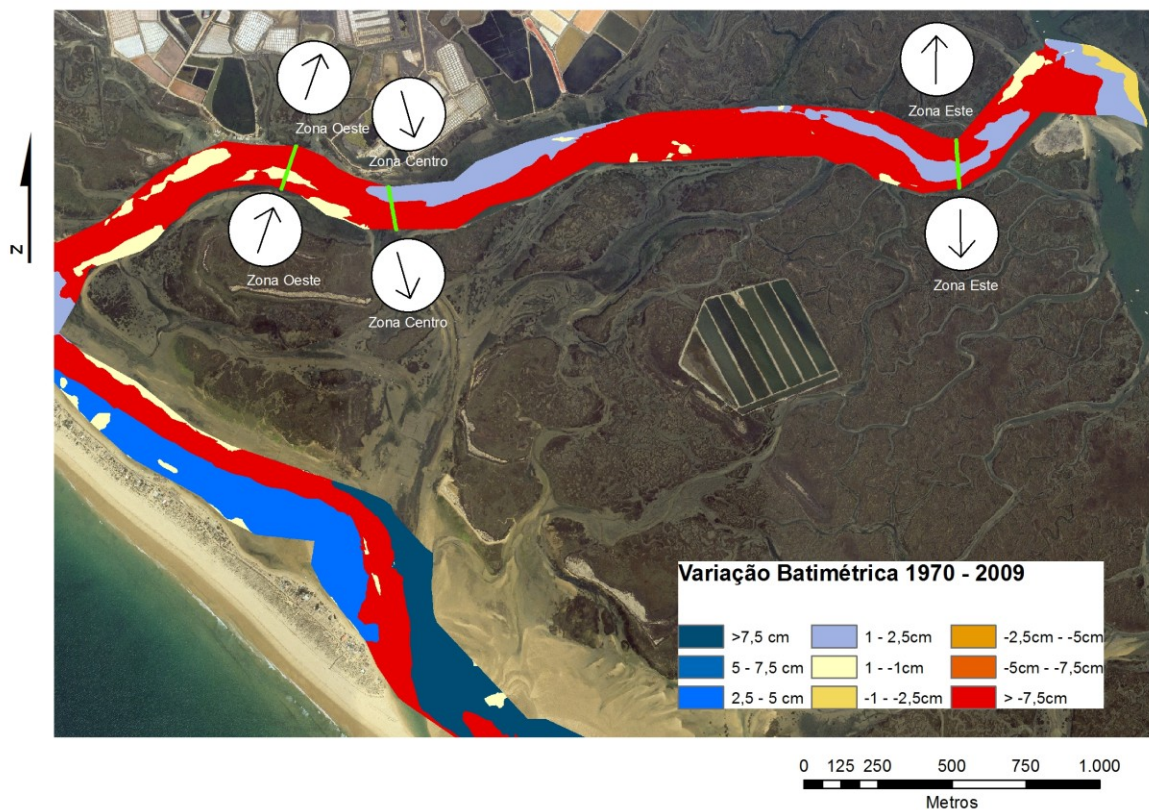


Figura 18– Direção de migração das margens e zonas de erosão/sedimentação/estabilidade do trecho Faro – Cais Comercial , de acordo com classificação: >7.5cm áreas de sedimentação

muito elevada; 5 a 7.5cm sedimentação elevada; 2.5 a 5cm sedimentação média; 1 a 2.5cm sedimentação baixa; 1 a -1cm estabilidade; -1 a -2.5cm erosão baixa; -2.5 a -5cm erosão média; -5 a -7.5cm erosão elevada; >-7.5cm erosão muito elevada (levantamentos de 1970 e 2003).

#### 4.1.2. Troço de canal Faro – Cais Comercial

Foram utilizados para a análise morfodinâmica deste troço de canal, os modelos digitais de terreno com informação topo-batimétrica obtidos através dos levantamentos de 1970 e de 2003 (figuras 19 e 20).

A figura 19 tem por base um ortofotomapa de 2005 e tem nele representado um modelo digital de terreno relativo à variação batimétrica no troço em análise referente ao ano de 1970. O respectivo MDT definiu uma profundidade máxima de -7.8m situado no extremo NO do troço na zona de interligação com o troço de canal Ramalhete - Ancão, e uma altitude máxima de 3m.

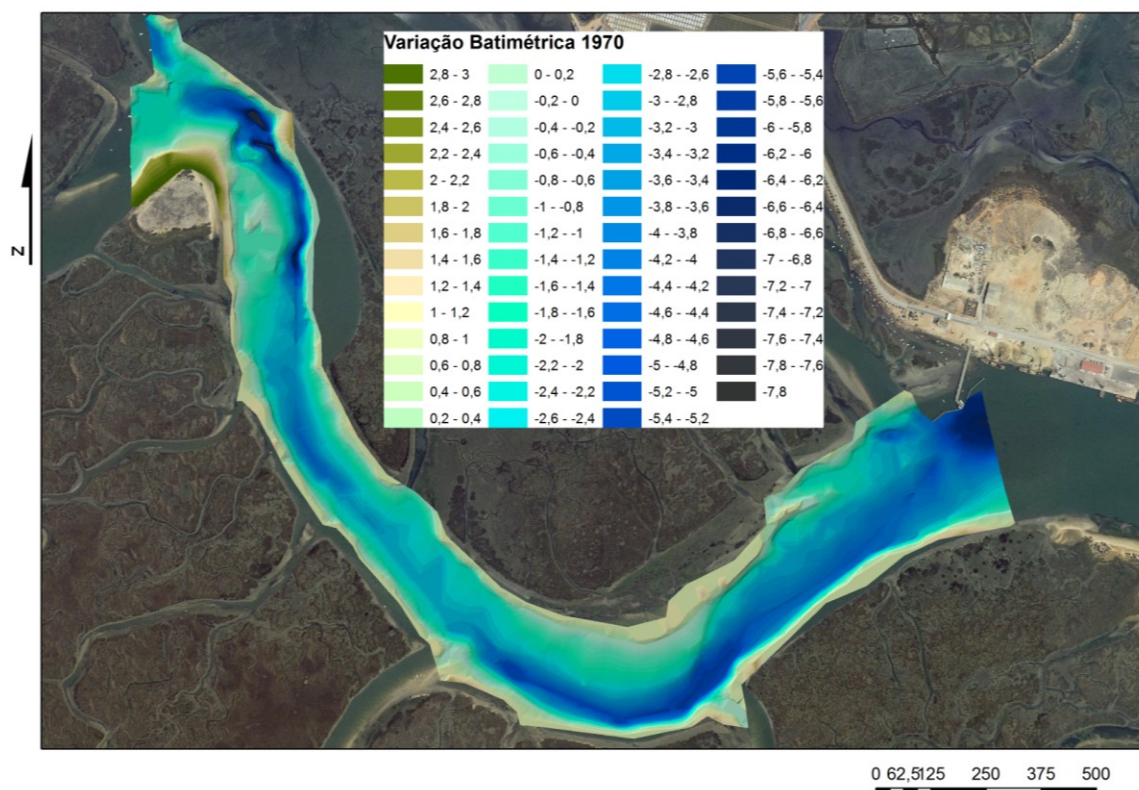


Figura 19 – MDT do troço Faro - Cais Comercial (levantamento de 1970 - sistema de coordenadas Datum 73 Hayford Gauss IPCC).

Este troço de canal está classificado como um canal de navegação secundário, e apresenta uma orientação NO – SE até pouco mais de metade do seu comprimento. Depois altera a partir daí, a sua orientação para SO – NE. Este troço de canal tem um comprimento aproximado de 3 km. No extremo NE do troço, coincidente com o troço Cais Comercial – Barra Faro-Olhão, apesar de haver nova alteração de direção do canal, situa-se o porto de Faro. Corresponde a uma zona de batimetria antropizada. A parte mais profunda do trecho assegura em todo o seu comprimento as condições necessárias para a navegação.

Na figura 20 encontra-se representado um modelo digital de terreno relativo à variação batimétrica no troço de canal em análise referente ao ano de 2003. O respectivo MDT identifica uma profundidade máxima de -8.6 m localizado no extremo NO próximo ao sector de interligação com o canal do Ramalhete - Ancão, com uma altitude máxima de 2m. O troço Faro – Cais Comercial está classificado como canal de navegação secundário. Este apresenta uma orientação NO – SE até pouco mais de metade do seu comprimento alterando a partir daí a sua orientação para SO – NE. A parte mais profunda do trecho continua a assegurar em todo o seu comprimento as condições necessárias para a navegação.

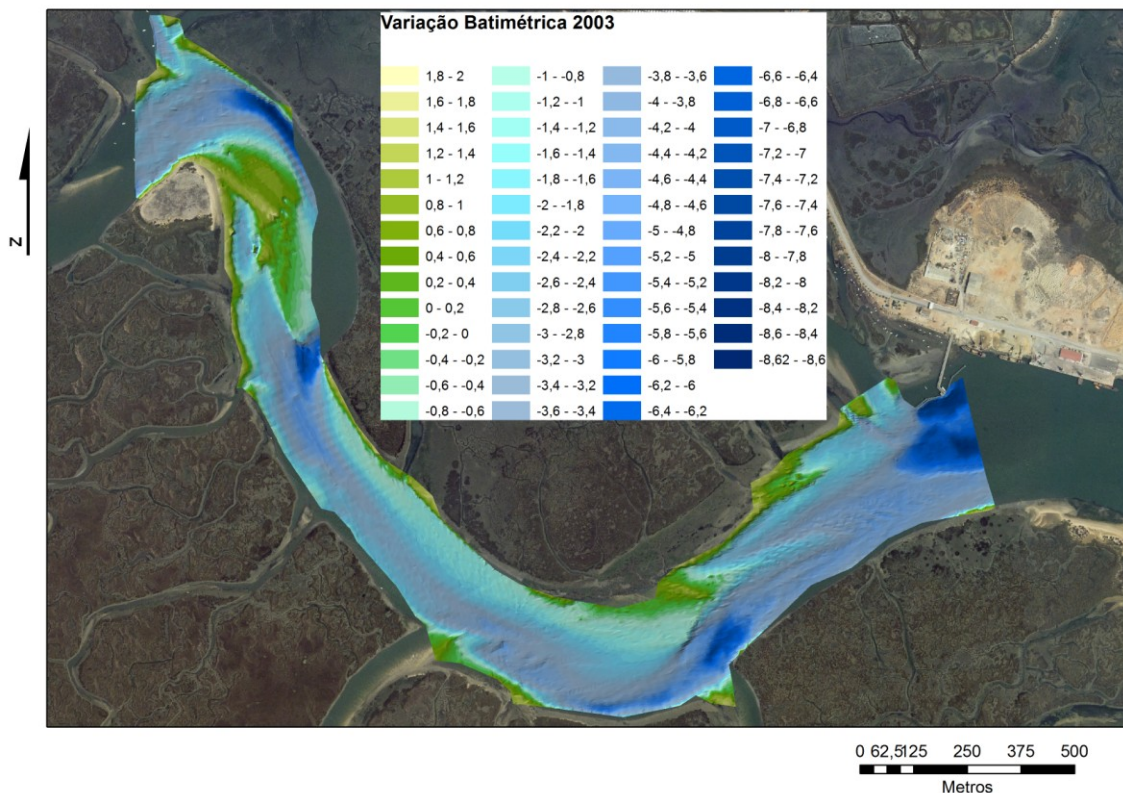


Figura 20 – MDT do troço Faro - Cais Comercial (levantamento de 2003 - sistema de coordenadas Datum 73 Hayford Gauss IPCC).

Quando sobrepostos os levantamentos de 1970 e o de 2003, no troço de canal Faro – Cais Comercial cujos resultados encontram-se expressos na figura 21, puderam-se definir os seguintes resultados:

- as áreas erodidas representaram aproximadamente 43 hectares (62% do total) e as áreas sedimentadas 26 hectares (38%). As áreas de sedimentação distribuíram-se espacialmente sob a forma de grandes bancos de areia dispostos marginalmente ou longitudinalmente ao canal (figura 21).

- a disposição espacial das zonas sedimentadas e erodidas indicia estar associada a uma circulação meandriforme deste troço de canal, justificada: i) pela presença de bancos de areia intermareais da Ilha dos Tesos e da Vasa da Galé que se distribuem junto às margens convexas e que correspondem às zonas de maior sedimentação; ii) pelas zonas mais profundas deste troço de canal “terem” migrado (no período em análise) no sentido da margem côncava;

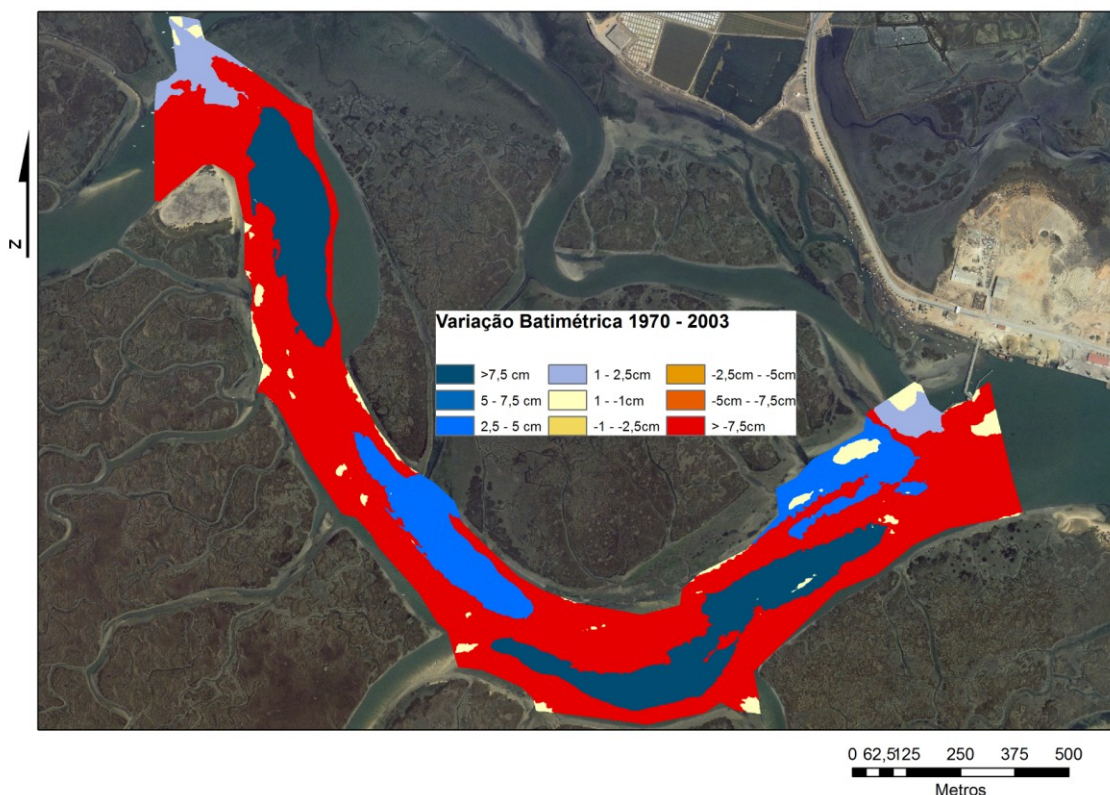


Figura 21 - Zonas de erosão/sedimentação/estabilidade do troço Faro – Cais Comercial, de acordo com classificação: >7.5cm áreas de sedimentação muito elevada; 5 a 7.5cm sedimentação elevada; 2.5 a 5cm sedimentação média; 1 a 2.5cm sedimentação baixa; 1 a -1cm estabilidade; -1 a -2.5cm erosão baixa; -2.5 a -5cm erosão média; -5 a -7.5cm erosão elevada; >-7.5cm erosão muito elevada (levantamentos de 1970 e 2003).

- os volumes de erosão envolvidos foram da ordem dos  $-648000 \text{ m}^3$  e os depositados de  $275000 \text{ m}^3$ , conferindo um balanço sedimentar negativo (favorável à erosão) da ordem dos  $-373761 \text{ m}^3$  (Quadro 5);

- neste troço a distribuição espacial das áreas erodidas e sedimentadas não foram afetadas por trabalhos de dragagem efetuados em 1998-2000 e não se teve conhecimento de trabalhos de dragagem prévios;

- pelo que, foi possível estimar uma taxa anual média de erosão de aproximadamente  $-11326 \text{ m}^3/\text{ano}$  que representou um aumento de profundidade média de cerca  $-0.02\text{m}/\text{ano}$ .

Quadro 5 - Balanço sedimentar no troço Faro – Cais Comercial, resultante da comparação dos levantamentos de 1970 e de 2003 (não contabilizando volumes dragados).

	Canal Faro - Cais Comercial (1970 - 2003)			
	Vol.sedim.(m3)	Areas (m2)	Batim.(m)	% Areas
Acessão	274844	263715	1.04	0.38
Erosão	-648605	429674	-1.51	0.62
Total	923449	693389		
Meses	396			
Resultante s/ Drag.(m3)	-373761			
Taxa Med.Anual s/ Drag.(m3/ano)	-11326		-0.02	
Taxas s/ Drag.(m3/mês)	-944			
Taxas s/ Drag.(m3/mês/m2)	-0.001			
taxas s/ Drag.(m3/dia)	-31			
Dragagens (m3)	-			

Uma vez que esta taxa de variação anual média de erosão, e tendência média de decréscimo da batimetria foram calculadas com base numa série temporal longa, pode-se assumir que elas poderão servir para se fazer projecções futuras de evolução morfodinâmica neste troço de canal, se as condições hidrodinâmicas não forem entretanto alteradas com intervenções antrópicas no canal.

### Análise por sectores no troço de canal Faro - Cais Comercial

Quando projetados e comparados os perfis transversais definidos para este troço de canal com uma disposição espacial de acordo com a figura 22, para os levantamentos de 1970 e de 2003, foi possível determinar que:

- no perfil transversal da Zona Oeste (figura 23.a), as linhas de perfil definiram uma clara tendência de migração de todo o canal no sentido da margem E, expressa na figura 24;

- nos perfis transversais das Zona Este e Central (figura 23.b,c), as linhas de perfil definiram uma clara tendência de migração de todo o canal no sentido da margem S, expressa na figura 24.

Uma vez que estas tendências de migração dos sectores do canal foram determinadas com base num largo período entre levantamentos (33 anos), podem-se considerar valores

médios representativos, e permitir que possam ser extrapolados para um futuro próximo, se as condições hidrodinâmicas e fisiográficas se mantiverem.

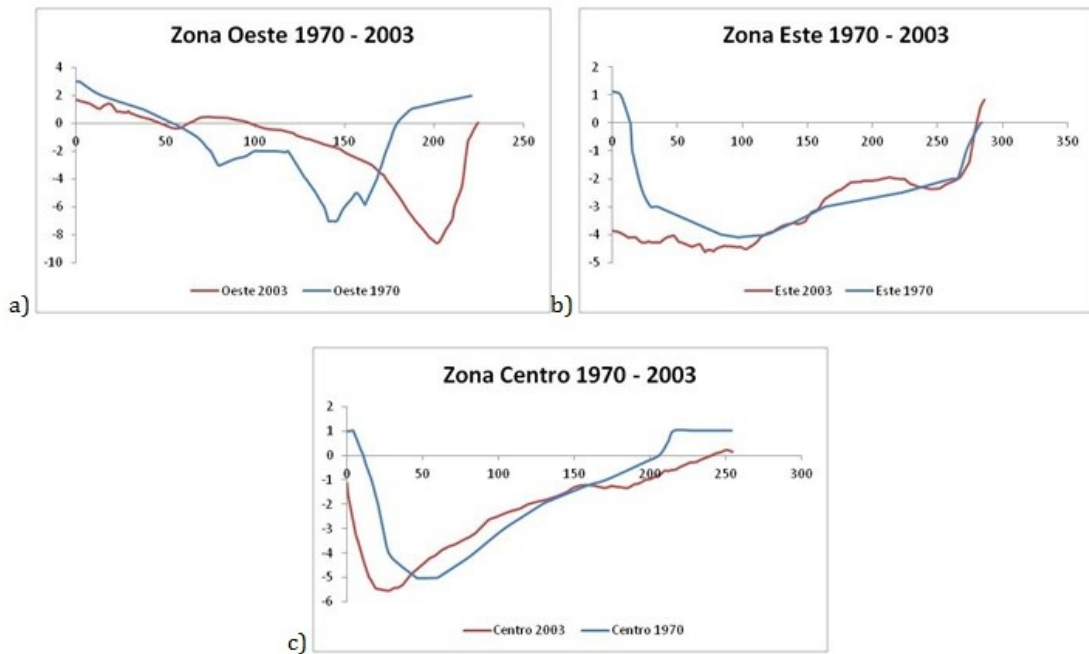


Figura 22 - Perfis transversais nos das Zonas: a) Oeste, b) Este e c) Centro, do canal Faro – Cais Comercial, referentes aos levantamentos topo-batimétricos de 1970 e de 2003 (distância eixo x; altimetria/batimetria eixo y).

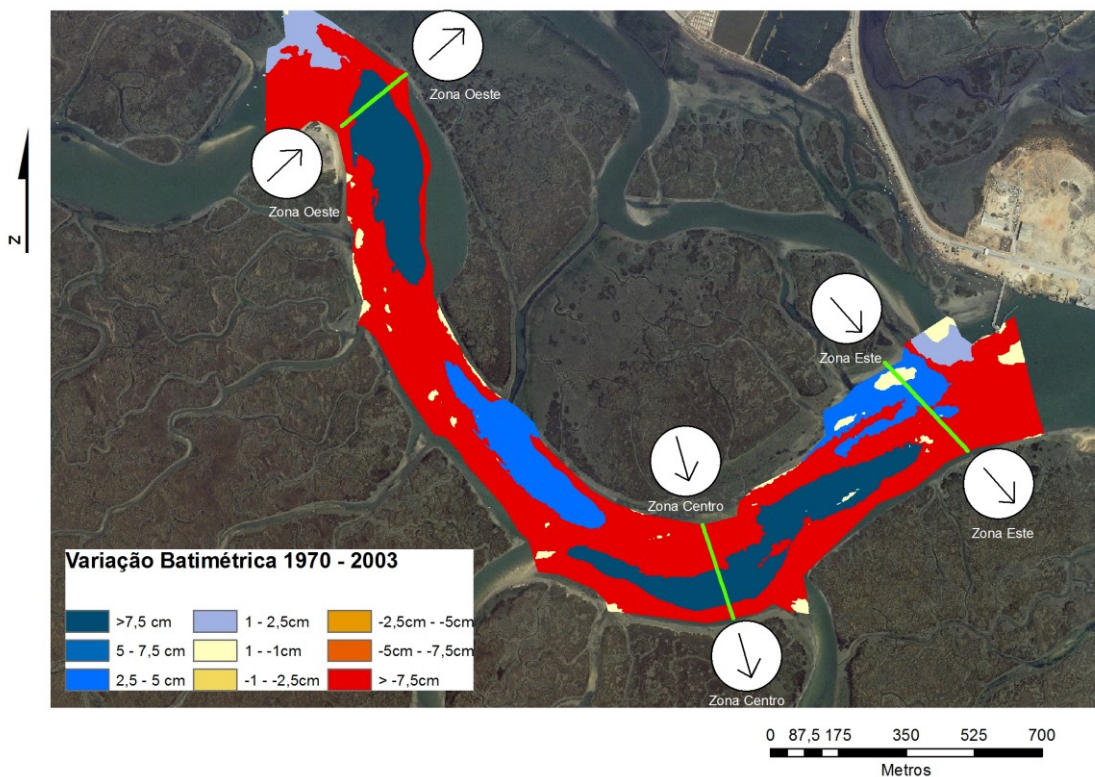


Figura 23 - Zonas de erosão/sedimentação/estabilidade do trecho Faro - Cais Comercial, de acordo com classificação: >7.5cm áreas de sedimentação muito elevada; 5 a 7.5cm sedimentação elevada; 2.5 a 5cm sedimentação média; 1 a 2.5cm sedimentação baixa; 1 a -

1cm estabilidade; -1 a -2.5cm erosão baixa; -2.5 a -5cm erosão média; -5 a -7.5cm erosão elevada; >-7.5cm erosão muito elevada (levantamentos de 1970 e de 2003 - sistema de coordenadas *Datum 73 Hayford Gauss IPCC*).

## 4.2. Zona Nascente da área de estudo

### 4.2.1. Troço de canal Cais Comercial – Barra Faro-Olhão

Foram utilizados os modelos digitais de terreno com informação topo-batimétrica obtidos através do levantamento de 1970 (figura 25) e do levantamento de 2010 (figura 26).

A figura 19 tem como base um ortofotomapa de 2005 e tem nele representado um modelo digital de terreno relativo à variação batimétrica no troço em análise no ano de 1970. O MDT de 1970 permite observar uma profundidade máxima de -17.8 m situada no extremo SE do troço da barra Faro-Olhão, e uma altitude máxima de 2 m em vários locais situados nas margens do canal, deste MDT.

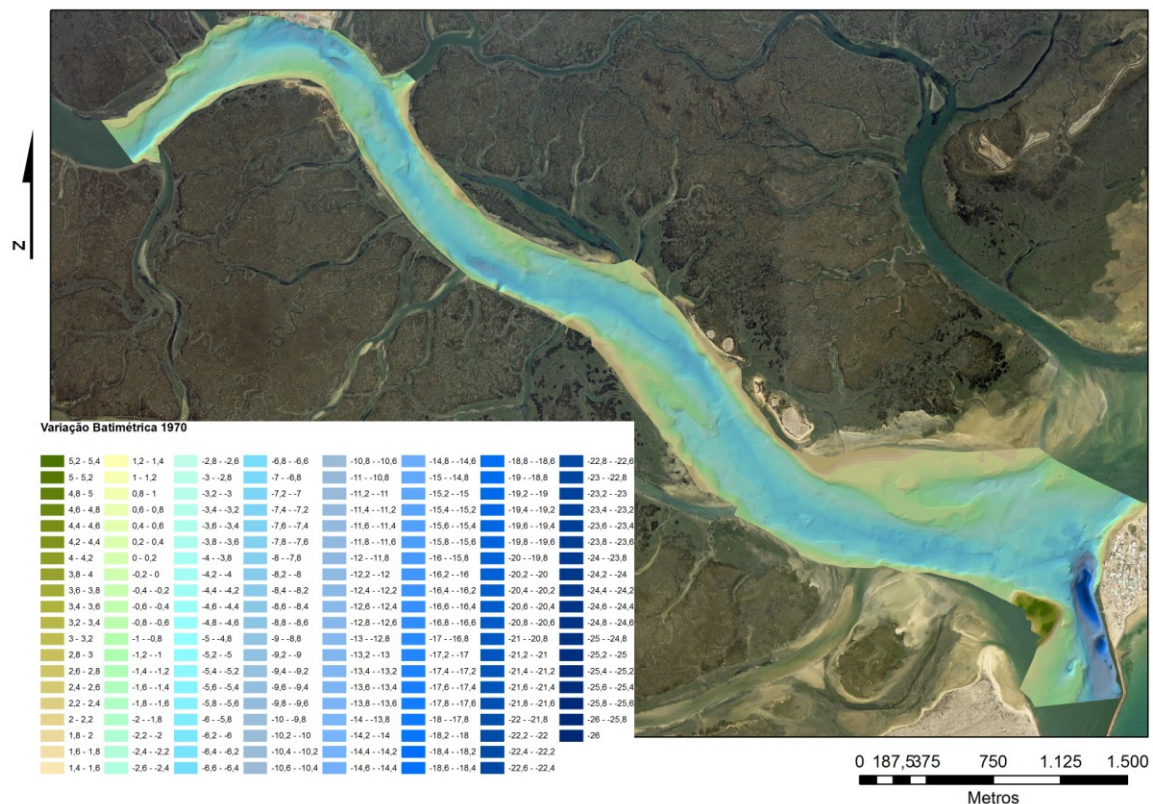


Figura 24 - Troço Cais Comercial – barra Faro-Olhão (levantamento 1970 - sistema de coordenadas *Datum 73 Hayford Gauss IPCC*).

O troço Cais Comercial – barra Faro-Olhão está classificado como correspondendo a um canal de navegação principal, sendo o canal mais importante do sistema lagunar visto permitir o acesso ao porto de Faro por embarcações de grande calado. Este canal apresentou uma orientação SO – NE na parte poente, coincidente com o final do troço Faro – Cais Comercial, alterando a partir daí a sua orientação para NO – SE. Este troço de canal apresentou um comprimento aproximado de 7.3 km, com uma secção transversal definida por uma parte central mais profunda, com largura regular, que assegurava a navegação.

A figura 19 tem por base um ortofotomapa de 2005 e nele está representado um modelo digital de terreno relativo à variação batimétrica no troço em análise no ano de 1970. O MDT de 1970 apresentou uma profundidade máxima de -29.1 m situado no extremo SE do troço localizada na barra Faro-Olhão, e uma altitude máxima de 3m em vários locais dispostos nas margens do canal.

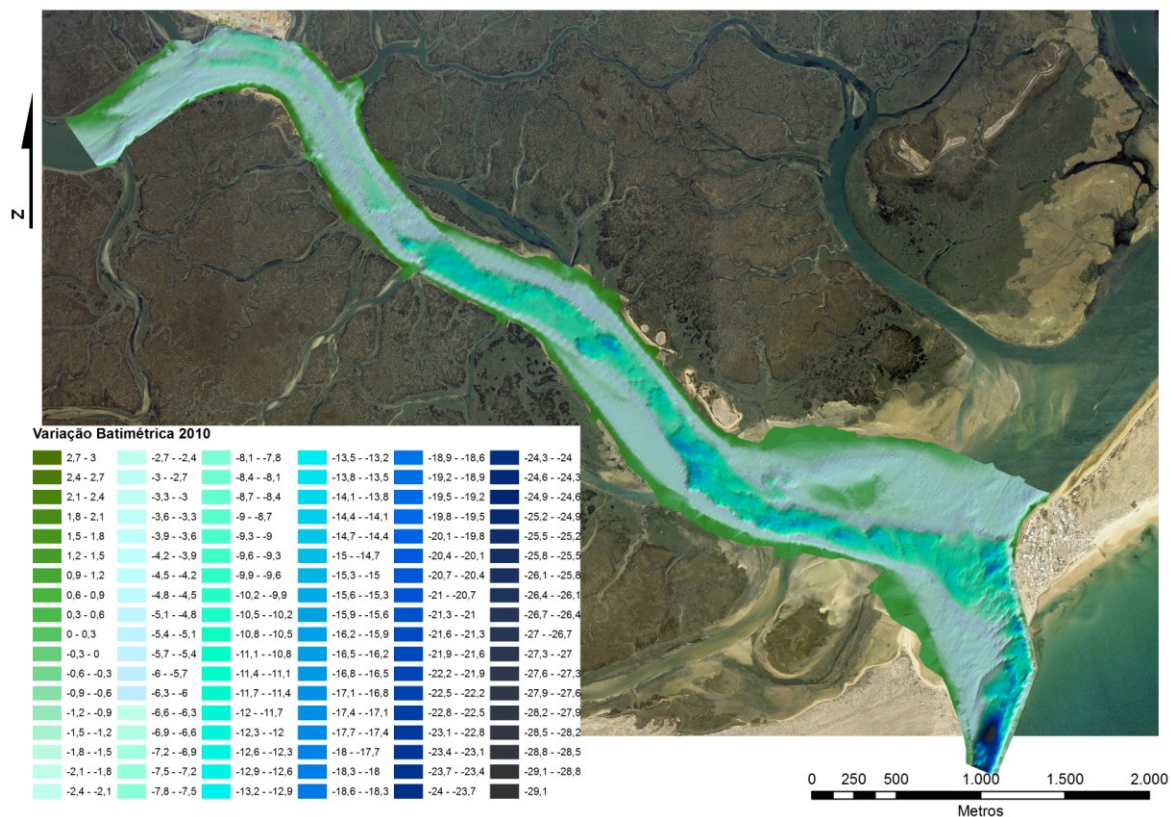


Figura 25 – MDT do troço Cais Comercial – barra Faro-Olhão (levantamento 2010 - sistema de coordenadas Datum 73 Hayford Gauss IPCC).

O troço Cais Comercial – barra Faro-Olhão está classificado como canal de navegação principal sendo o canal mais importante do sistema lagunar, por ser utilizado como acesso ao porto de Faro por embarcações de grande calado. Este troço de canal apresentou uma orientação SO – NE na parte poente, coincidente com o final do troço Faro – Cais Comercial,

alterando a partir daí a sua orientação para NO – SE. O troço tem um comprimento aproximado de 7.3 km, definido por uma secção transversal que apresentou uma parte central mais profunda, com largura regular, que por sua vez asseguram a navegação. O eixo do canal apresentou profundidades e larguras pouco variáveis longitudinalmente, fundamentalmente em resultado de trabalhos de dragagem ocorridos entre 1977 e 2005, com exceção da parte correspondente à barra Faro-Olhão, definida por uma fisiografia em forma afunilada para o mar, com margens fixas por enrocamento.

No MDT da figura 26 foi possível identificar estruturas sedimentares de fundo do tipo megadunas, de acordo com a classificação do Department of the Army (1995), que se dispõem longitudinalmente ao longo de 5.6 km, entre a entrada da barra Faro-Olhão até ao Cabeço do Geado (margem esquerda). A título de exemplo, na figura 27 apresenta-se uma ampliação do referido MDT para o troço de canal correspondente à barra de Faro-Olhão, afim de realçar as megadunas. Uma vez que estas macroformas de fundo se encontram relacionadas com sedimentos de fundo arenosos, esta informação de acordo com Department of the Army (1995) reflete um elevado hidrodinamismo ao longo deste troço de canal de 5.6 km.

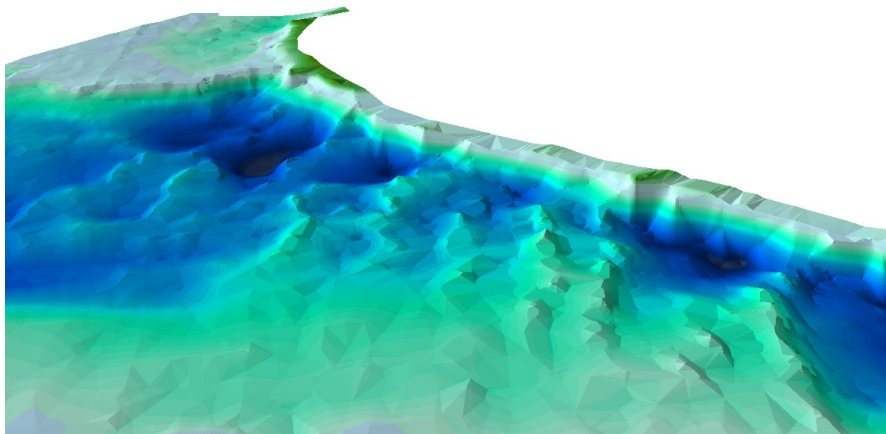


Figura 26 – Pormenor do MDT final do troço Cais Comercial - Barra Faro-Olhão onde se podem observar megadunas de fundo (levantamento 2010 - sistema de coordenadas *Datum 73 Hayford Gauss IPCC*).

Quando sobrepostos os levantamentos de 1970 e o de 2010 correspondentes a todo o troço de canal compreendido entre o Cais Comercial – barra Faro-Olhão (sobreposição dos MDTs constantes nas figuras 25 e 26), cujo *Cut and Fill* se encontra expresso na figura 2, foi possível constatar que:

- as áreas erodidas representaram aproximadamente 265 hectares (79% do total) e as áreas de sedimentação 71 hectares (21%);

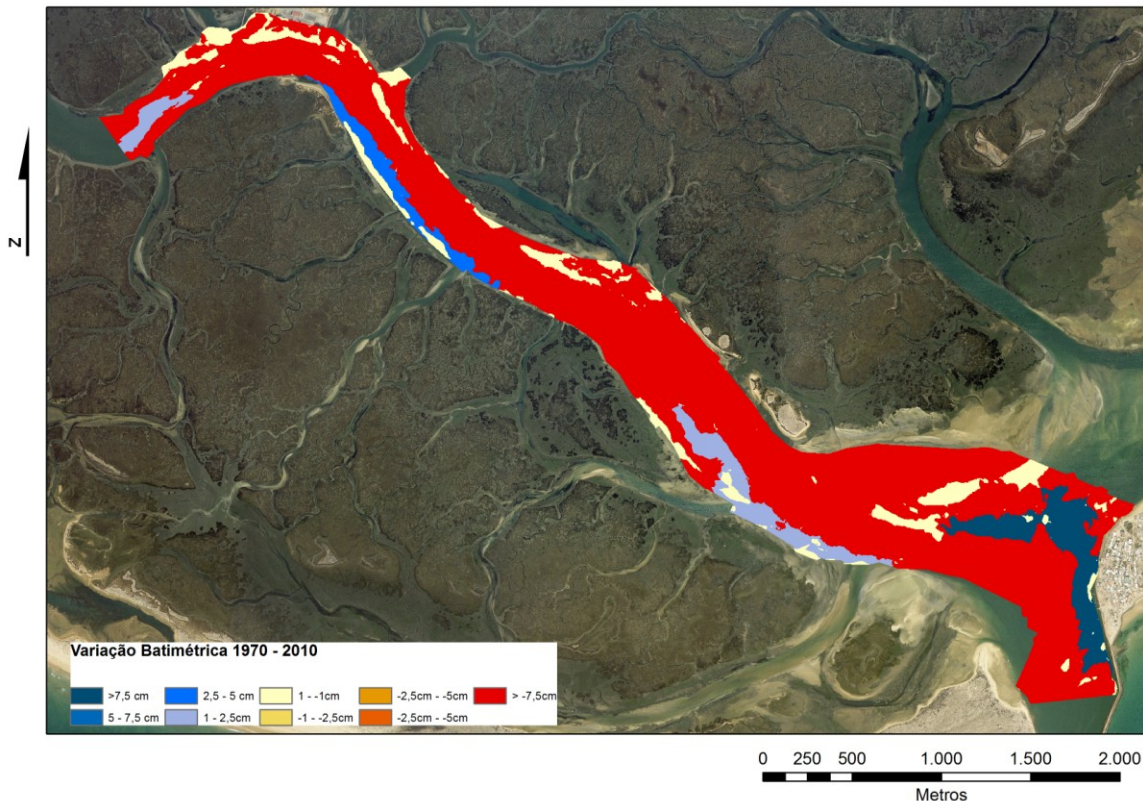


Figura 27 - Zonas de erosão/sedimentação/estabilidade do trecho Cais Comercial – barra Faro-Olhão, de acordo com classificação: >7.5cm áreas de sedimentação muito elevada; 5 a 7.5cm sedimentação elevada; 2.5 a 5cm sedimentação média; 1 a 2.5cm sedimentação baixa; 1 a -1cm estabilidade; -1 a -2.5cm erosão baixa; -2.5 a -5cm erosão média; -5 a -7.5cm erosão elevada; >-7.5cm erosão muito elevada (levantamentos de 1970 e de 2010 - sistema de coordenadas Datum 73 Hayford Gauss IPCC).

- as áreas de erosão ocuparam todo o eixo central do trecho de canal em estudo, com uma extensão lateral significativa (da ordem dos 200m), conferindo uma secção transversal com uma geometria muito geométrica ao canal, com margens muito regulares, fundo plano, tendo sido resultado de operações de dragagem (Figura 37 e 38)
- As áreas de sedimentação localizaram-se nas margens SO e SE do deste canal;
- os volumes de erosão envolvidos foram da ordem dos  $-8333000 \text{ m}^3$  e os depositados da ordem dos  $780386 \text{ m}^3$ , traduzindo um balanço sedimentar negativo, favorável à erosão da ordem dos  $-7551000 \text{ m}^3$  (Quadro 6), não entrando em consideração com os volumes dragados. Estes resultados apontaram para uma taxa de erosão de aproximadamente  $-188789 \text{ m}^3/\text{ano}$ , a que lhe esteve associada um aumento da profundidade média de cerca  $-0.06 \text{ m/ano}$ ;

Quadro 6 - Balanço sedimentar trecho Cais Comercial - Barra Faro-Olhão, resultante da comparação dos levantamentos de 1970 e de 2009 (contabilizando e não contabilizando os volumes dragados entre 1977 e 2005).

	Canal Cais Comercial - Barra Faro Olhão (1970 - 2010)			
	Vol.sedim.(m3)	Areas (m2)	Batim.(m)	% Areas
Acessão	780361	717219	1.09	0.21
Erosão	-8331911	2645838	-3.15	0.79
<b>Total</b>	<b>9112272</b>	<b>3363057</b>		
Meses	480	-1928619		-0.57
Resultante s/ Drag.(m3)	-7551550		-2.25	
Taxa Med.Anual s/ Drag.(m3/ano)	-188789		-0.06	
Taxas s/ Drag.(m3/mês)	-15732			
Taxas s/ Drag.(m3/mês/m2)	-0.005			
taxas s/ Drag.(m3/dia)	-524		-0.0002	
<b>Dragagens (m3)</b>	<b>-7424744</b>			
Resultante c/ Drag.(m3)	-126806			
Taxa Med.Anual c/ Drag.(m3/ano)	-3170		-0.001	
Taxas c/ Drag.(m3/mês)	-264			
taxas c/ Drag.(m3/dia)	-9		-0.0001	

- quando contabilizados os volumes de dragados neste canal, que foram da ordem dos - 7424744 m<sup>3</sup> (que tiveram lugar no período compreendido entre 1977 e 2005 - constantes no quadro 7), a resultante do volume sedimentar para os 480 meses em análise foram da ordem dos -126806 m<sup>3</sup>, favoráveis à erosão. Estes resultados apontaram para que durante o período em análise, ter ocorrido uma taxa média anual de erosão da ordem dos -3170 m<sup>3</sup>/ano, associada a um decréscimo médio da batimetria de -0.001 m/ano.

Quadro 7 - Dragagens no trecho Cais Comercial - Barra Faro-Olhão entre 1977 e 2005.  
Informação gentilmente cedida pelo IPTM.

Dragagens no trecho Cais Comercial - Barra Faro-Olhão					
Ano	Volume (m3)	Ano	Volume (m3)	Ano	Volume (m3)
1977	165000	1990	442644	2000	554966
1982	53000	1991	404074	2001	561830
1983	52600	1992	330700	2002	581650
1984	42200	1993	261474	2003	343285
1985	128715	1994	118657	2004	335505
1986	114490	1995	179143	2005	40000
1987	374430	1996	215552		
1988	468937	1997	271873		
1989	504615	1998	382329		
		1999	497075		
total 77-89	1903987	total 90-99	3103521	total 00-05	2417236
total 77-05		7424744			

Os dados do Relatório 3 (3ª Fase) do LNEC (2011) referem-se a uma comparação entre cartas topo-batimétricas referentes aos levantamentos dos anos 1980 e 2008, para este canal, como estando associada a uma variação do volume sedimentar de -8002000 m<sup>3</sup>, ou seja de uma taxa média anual de erosão da ordem dos -285786 m<sup>3</sup>/ano.

Os dados obtidos por Pacheco *et al.* (2006) referem-se a uma comparação de cartas topo-batimétricas dos levantamentos do ano 1985 e 2001, que apresenta uma resultante do

volume sedimentar de cerca  $-3540000 \text{ m}^3$  para o período em análise, que confere uma taxa média anual de erosão da ordem dos  $-221250 \text{ m}^3/\text{ano}$ . Determinou igualmente uma tendência generalizada de migração das margens para Este obtida através da comparação de ortofotomapas compreendidos no mesmo período temporal.

Fazendo uma análise comparativa entre os resultados obtidos neste trabalho com os obtidos por outros autores, pode-se realçar que:

- os volumes de erosão contabilizados através da sobreposição dos levantamentos e os volumes dragados fornecidos pelo IPTM para este canal, foram da mesma ordem de grandeza, com  $-8331911 \text{ m}^3$  e  $-7424744 \text{ m}^3$  respectivamente. Esta informação pode levar a deduzir que os volumes dragados neste canal foram executados no sentido de garantir as condições de navegabilidade necessárias para os navios de grande calado, e conseqüentemente para garantir uma estabilidade temporal nas cotas batimétricas;

- a resultante do transporte sedimentar obtido no âmbito deste trabalho favorável à erosão com uma taxa média anual ordem dos  $-3170 \text{ m}^3/\text{ano}$  (para o período 1970-2010), embora tenha sido muito inferior às taxas médias anuais obtidas por LNEC (2011) e por Pacheco *et al.* (2006), respectivamente com  $-285786 \text{ m}^3/\text{ano}$  e com  $-221250 \text{ m}^3/\text{ano}$  (para os períodos 1980-2008 e 1985-2001), apontam as três para uma tendência erosiva deste canal, mas que refletem períodos de temporais diferentes. Os volumes sedimentares em análise calculados pelos dois autores são praticamente referentes ao mesmo período de tempo e apresentam magnitudes da mesma ordem de grandeza. Desta forma, a taxa média anual determinada no âmbito deste trabalho ter sido muito inferior, pode estar relacionada com o facto de na década de 70 ter ocorrido uma tendência de sedimentação nesta canal (para compensar os volumes sedimentares erodidos e dragados), uma vez que os procedimentos metodológicos usados nos três trabalhos foram iguais. Para confirmar esta interpretação dos resultados obtidos, seria da maior relevância incluir em trabalhos futuros o acesso aos levantamentos realizados neste canal referentes aos anos de 1980, 1985 e 1994. Por fim, para justificar esta discrepância de magnitudes, pode-se equacionar ter havido uma discrepância entre os volumes reais dragados e os volumes declarados.

### **Análise por sectores no canal Cais Comercial – barra Faro-Olhão**

Para se proceder a uma análise mais detalhada no canal Cais Comercial – barra Faro-Olhão, procedeu-se a uma análise de 8 levantamentos topo-batimétricos compreendidos entre 2001 e 2010 (quadro 1), considerando 5 subáreas definidas pela sua fisiografia de acordo com a figura 9.

Quando sobrepostos os levantamentos de 2002 e 2001 do troço de canal Cais Comercial – barra Faro-Olhão, cujos resultados se encontram expressos na figura 29 e no quadro 8, foi possível constatar que:

- as áreas erodidas representaram aproximadamente 230 hectares (58% do total) e as áreas sedimentadas 167 hectares (42%). As áreas de erosão (figura 29) encontraram-se espacialmente mais representadas nos sectores D e E e um pouco no sector A. As áreas de sedimentação encontraram-se preferencialmente nos sectores B e C;

- os volumes de erosão envolvidos foram da ordem dos  $-1336576 \text{ m}^3$  e os de deposição de  $495667 \text{ m}^3$ , que conferiram um balanço sedimentar negativo da ordem dos  $-840909 \text{ m}^3$  para os 15 meses em análise. A taxa média anual de erosão foi de  $-672727 \text{ m}^3/\text{ano}$ , a que esteve associada a um decréscimo médio da batimetria de  $-0.17 \text{ m/ano}$ ;

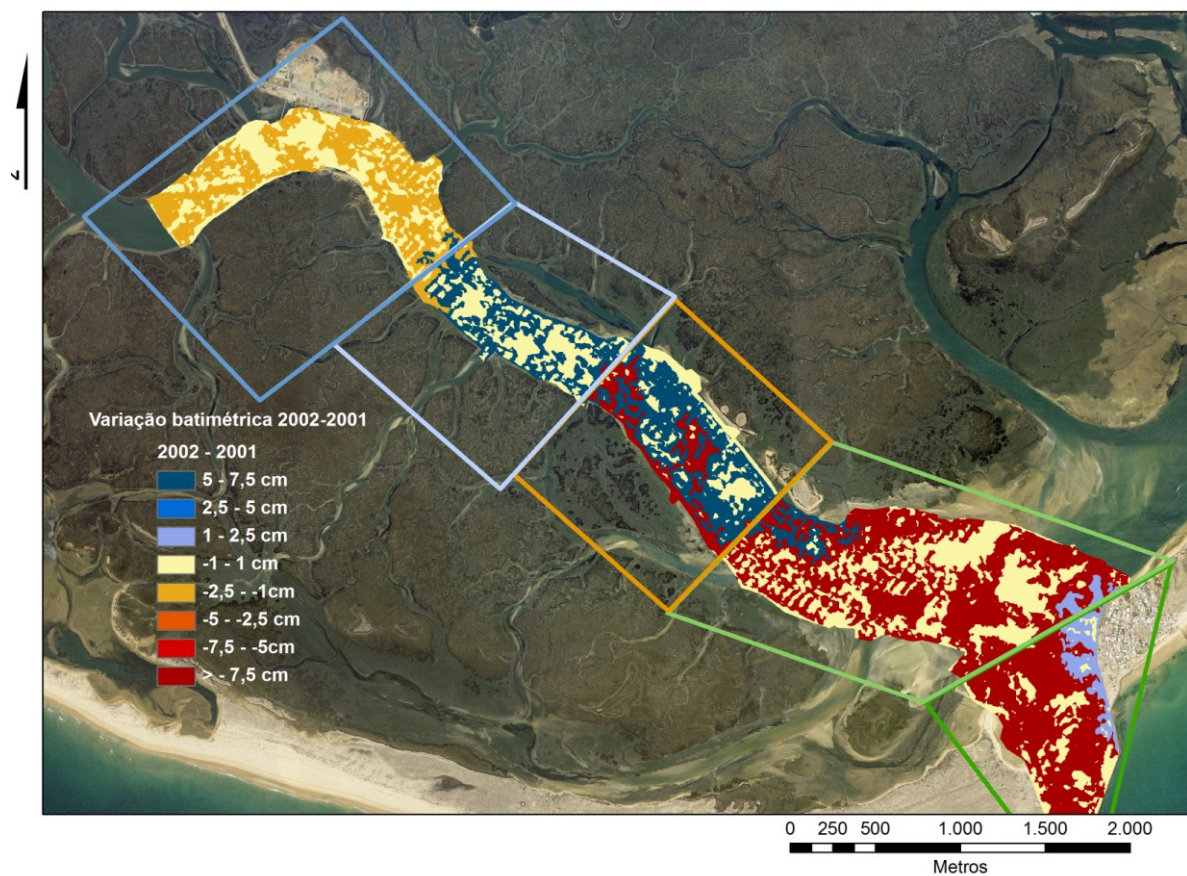


Figura 28 - Zonas de erosão/sedimentação/estabilidade do troço Faro – Cais Comercial, de acordo com classificação:  $>7.5\text{cm}$  áreas de sedimentação muito elevada; 5 a 7.5cm sedimentação elevada; 2.5 a 5cm sedimentação média; 1 a 2.5cm sedimentação baixa; 1 a -1cm estabilidade; -1 a -2.5cm erosão baixa; -2.5 a -5cm erosão média; -5 a -7.5cm erosão elevada;  $>-7.5\text{cm}$  erosão muito elevada (levantamentos de 2001 e de 2002 - sistema de coordenadas Datum 73 Hayford Gauss IPCC).

- quando contabilizados os volumes sedimentares dragados em 2001, no montante de - 561830 m<sup>3</sup> (quadro 8), foi possível verificar que a resultante do volume sedimentar de fundo continuou a ser favorável à erosão, foi da ordem dos -279079 m<sup>3</sup> (para os 15 meses em análise), a que lhe esteve associada uma taxa média anual de erosão de -223263 m<sup>3</sup>/ano, e um decréscimo médio da batimetria de -0.06 m/ano.

Quadro 8 - Balanço sedimentar troço Cais Comercial - Barra Faro-Olhão, resultante da comparação dos levantamentos de 2001 – 2002.

	Canal Cais Comercial - barra Faro-Olhão (2002-2001)			
	Vol.sedim.(m3)	Areas (m2)	Batim.(m)	% Areas
Acessão	495667	1669636	0.30	0.42
Erosão	-1336576	2297572	-0.58	0.58
Total	1832243	3967208		
Meses	15			
Resultante s/ Drag.(m3)	-840909		-0.21	
Taxa Med.Anual s/ Drag.(m3/ano)	-672727		-0.17	
Taxas s/ Drag.(m3/mês)	-56061			
Taxas s/ Drag.(m3/mês/m2)	-0.014			
taxas s/ Drag.(m3/dia)	-1869		-0.0005	
Dragagens (m3)	-561830			
Resultante c/ Drag.(m3)	-279079			
Taxa Med.Anual c/ Drag.(m3/ano)	-223263		-0.06	
Taxas c/ Drag.(m3/mês)	-18605			
taxas c/ Drag.(m3/dia)	-620		-0.005	

Quando analisados os levantamentos de 2003 e de 2002 do troço de canal Cais Comercial – barra Faro-Olhão, cujos resultados se encontram expressos na figura 30, foi possível constatar que:

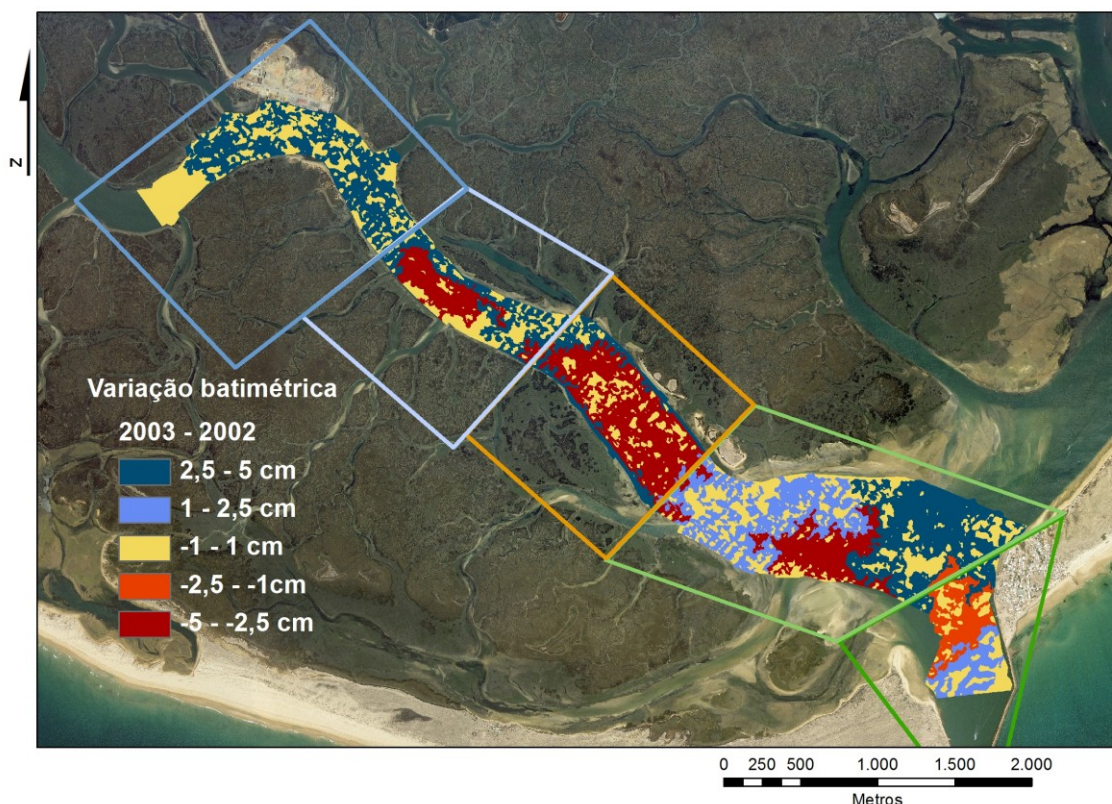


Figura 29 - Zonas de erosão/sedimentação/estabilidade do troço Faro – Cais Comercial , de acordo com classificação: >7.5cm áreas de sedimentação muito elevada; 5 a 7.5cm

sedimentação elevada; 2.5 a 5cm sedimentação média; 1 a 2.5cm sedimentação baixa; 1 a -1cm estabilidade; -1 a -2.5cm erosão baixa; -2.5 a -5cm erosão média; -5 a -7.5cm erosão elevada; >-7.5cm erosão muito elevada (levantamentos 2002 e de 2003 - sistema de coordenadas *Datum 73 Hayford Gauss IPCC*).

- as áreas erodidas representaram aproximadamente 180 hectares (46% do total) e as áreas sedimentadas 214 hectares (54%). As áreas de erosão (figura 30) encontraram-se espacialmente mais representadas nos sectores B e C e um pouco no sector D. As áreas de sedimentação encontraram-se preferencialmente nos sectores A;

- os volumes de erosão envolvidos foram da ordem dos -870621 m<sup>3</sup> e os de deposição de 712111 m<sup>3</sup>, que conferiram um balanço sedimentar negativo da ordem dos -158510 m<sup>3</sup> para os 13 meses em análise. A taxa média anual de erosão foi de -146317 m<sup>3</sup>/ano, a que esteve associada a um decréscimo médio da batimetria de -0.04 m/ano;

Quadro 9 - Balanço sedimentar troço Cais Comercial - Barra Faro-Olhão, resultante da comparação dos levantamentos de 2002 – 2003.

	Canal Cais Comercial - barra Faro-Olhão (2003-2002)			
	Vol.sedim.(m3)	Areas (m2)	Batim.(m)	% Areas
Acessão	712111	2146184	0.33	0.54
Erosão	-870621	1826436	-0.48	0.46
<b>Total</b>	<b>1582732</b>	<b>3972620</b>		
Meses	13	319748		0.08
Resultante s/ Drag.(m3)	-158510		-0.04	
Taxa Med.Anual s/ Drag.(m3/ano)	-146317		-0.04	
Taxas s/ Drag.(m3/mês)	-12193			
Taxas s/ Drag.(m3/mês/m2)	-0.003			
taxas s/ Drag.(m3/dia)	-406		-0.0001	
Dragagens (m3)	-581650			
Resultante c/ Drag.(m3)	423140			
Taxa Med.Anual c/ Drag.(m3/ano)	390591		0.10	
Taxas c/ Drag.(m3/mês)	32549			
taxas c/ Drag.(m3/dia)	1085		0.008	

Estes resultados apontaram para que durante o período 2003-2002 se tenha verificado uma tendência de assoreamento neste canal, que foi oposta à verificada no período anterior (2002-2001).

- quando contabilizados os volumes sedimentares dragados em 2002, no montante de -581650 m<sup>3</sup>, (quadro 9), foi possível verificar que a resultante do volume sedimentar de fundo passou a ser favorável à sedimentação, na ordem dos 423140 m<sup>3</sup> (para os 13 meses em análise). Esta definiu uma taxa média anual de sedimentação, com uma magnitude

aproximada de 390591 m<sup>3</sup>/ano, a que correspondeu um acréscimo médio da batimetria da ordem dos 0.1 m/ano.

O *Cut and Fill* resultante da sobreposição dos levantamentos de 2004 e 2003 do troço de canal Cais Comercial – barra Faro-Olhão, cujos resultados se encontram expressos na figura 31, foi possível verificar que:

- as áreas erodidas representaram aproximadamente 193 hectares (49% do total) e as áreas sedimentadas 203 hectares (51%). A localização espacial das áreas de erosão encontraram-se preferencialmente no sector E, embora também tenham ocorrido nos sectores B, C e D, embora com menor magnitude (figura 31);

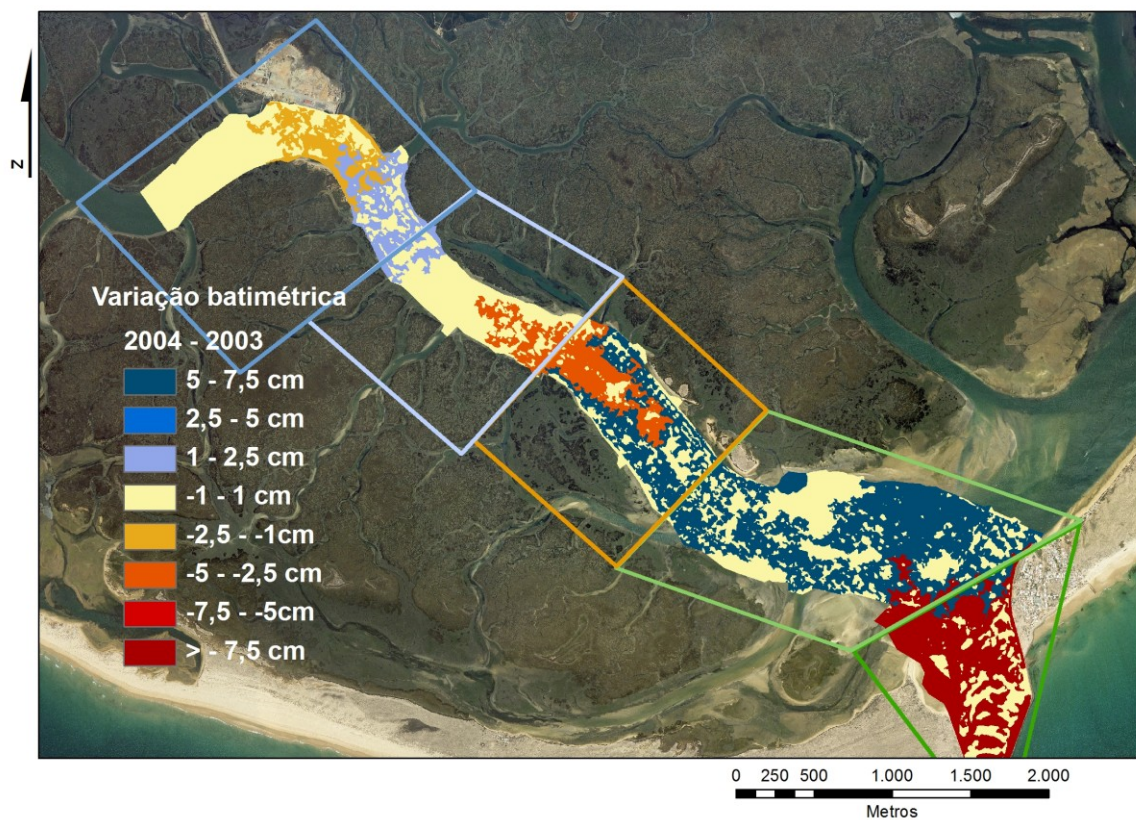


Figura 30 - Zonas de erosão/sedimentação/estabilidade do troço Faro – Cais Comercial , de acordo com classificação: >7.5cm áreas de sedimentação muito elevada; 5 a 7.5cm sedimentação elevada; 2.5 a 5cm sedimentação média; 1 a 2.5cm sedimentação baixa; 1 a -1cm estabilidade; -1 a -2.5cm erosão baixa; -2.5 a -5cm erosão média; -5 a -7.5cm erosão elevada; >-7.5cm erosão muito elevada (levantamentos 2003 e de 2004 - sistema de coordenadas Datum 73 Hayford Gauss IPCC).

- os volumes de erosão medidos foram da ordem dos -1010037 m<sup>3</sup> e os de sedimentação de 506006 m<sup>3</sup>, que conferiram um balanço sedimentar negativo (de erosão) da

ordem dos  $-504030 \text{ m}^3$  para os 12 meses em análise ( $-504030 \text{ m}^3/\text{ano}$ ), a que esteve associada a um decréscimo médio da batimetria de  $-0.13 \text{ m/ano}$ ;

- quando contabilizados os volumes sedimentares dragados em 2003, no montante de  $-343285 \text{ m}^3$  (quadro 10), foi possível verificar que a resultante do volume sedimentar de fundo continuou a ser favorável à erosão, da ordem dos  $-160745 \text{ m}^3/\text{ano}$ , e que esteve associada a um decréscimo médio da batimetria da ordem dos  $-0.04 \text{ m/ano}$  (quadro 10).

Neste período em análise, tornou a verificar-se uma inversão da tendência de balanço sedimentar, no canal em estudo.

Quadro 10 - Balanço sedimentar no troço de canal Cais Comercial - Barra Faro-Olhão, resultante da comparação dos levantamentos de 2003 – 2004.

	Canal Cais Comercial - barra Faro-Olhão (2004-2003)			
	Vol.sedim.(m3)	Areas (m2)	Batim.(m)	% Areas
Acessão	506006	1934464	0.26	0.49
Erosão	-1010037	2030252	-0.50	0.51
<b>Total</b>	<b>1516043</b>	<b>3964716</b>		
Meses	12			
Resultante s/ Drag.(m3)	-504030			
Taxa Med.Anual s/ Drag.(m3/ano)	-504030		-0.13	
Taxas s/ Drag.(m3/mês)	-42003			
Taxas s/ Drag.(m3/mês/m2)	-0.011			
taxas s/ Drag.(m3/dia)	-1400		-0.0004	
Dragagens (m3)	-343285			
Resultante c/ Drag.(m3)	-160745			
Taxa Med.Anual c/ Drag.(m3/ano)	-160745		-0.04	
Taxas c/ Drag.(m3/mês)	-13395			
taxas c/ Drag.(m3/dia)	-447			

Quando analisados os levantamentos de 2005 e 2004 do troço de canal Cais Comercial – barra Faro-Olhão, cujos resultados se encontram expressos na figura 32, foi possível constatar que:

- as áreas erodidas representaram aproximadamente 142 hectares (36% do total) e as áreas sedimentadas 253 hectares (64%). As áreas de erosão encontraram-se espacialmente mais representadas nos sectores D e E, e um pouco no sector A. As áreas de sedimentação dominaram os sectores B e C, muito embora tenha sido identificadas ao longo do troço do canal (figura 32);

- os volumes de erosão envolvidos foram da ordem dos  $-711269 \text{ m}^3$  e os de deposição de  $894380 \text{ m}^3$ , que conferiram um balanço sedimentar positivo (sedimentação) da ordem dos  $183111 \text{ m}^3$  para os 12 meses em análise, o que definiu uma taxa média anual de erosão de  $-183111 \text{ m}^3/\text{ano}$ , a que esteve associada a um acréscimo médio da batimetria da ordem dos  $0.05 \text{ m/ano}$ ;

- quando contabilizados os volumes sedimentares dragados em 2004 no montante de - 335505 m<sup>3</sup> (quadro 7), foi possível verificar que a resultante do volume sedimentar de fundo continuou a ser favorável à sedimentação, com uma taxa média anual de sedimentação de 518616 m<sup>3</sup>/ano, e esteve associada a um aumento médio da batimetria da ordem dos 0.13 m/ano.

Relativamente ao período anterior em estudo, verificou-se que entre 2004 e 2005 ocorreu uma inversão do balanço sedimentar neste canal, neste caso a favor da sedimentação.

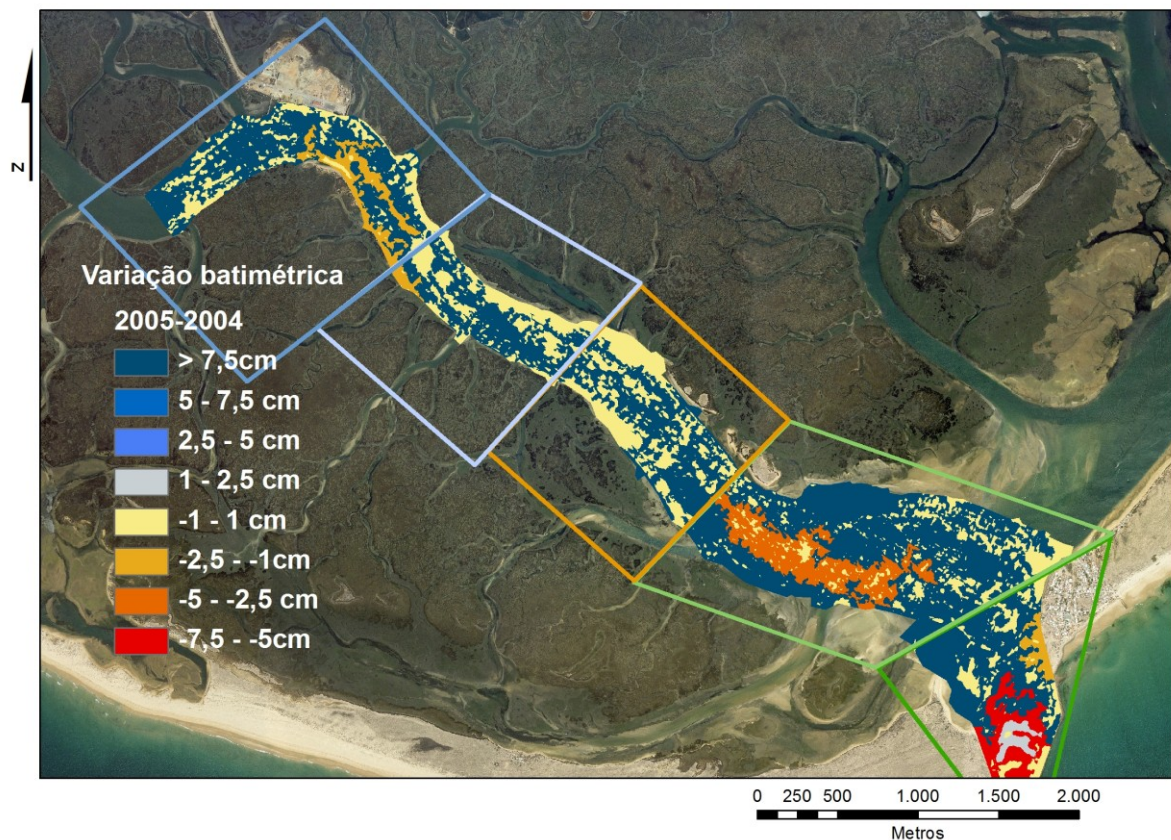


Figura 31 - Zonas de erosão/sedimentação/estabilidade do troço Faro – Cais Comercial , de acordo com classificação: >7.5cm áreas de sedimentação muito elevada; 5 a 7.5cm sedimentação elevada; 2.5 a 5cm sedimentação média; 1 a 2.5cm sedimentação baixa; 1 a -1cm estabilidade; -1 a -2.5cm erosão baixa; -2.5 a -5cm erosão média; -5 a -7.5cm erosão elevada; >-7.5cm erosão muito elevada (levantamentos de 2004 e de 2005 - sistema de coordenadas Datum 73 Hayford Gauss IPCC).

Quadro 11 - Balanço sedimentar troço Cais Comercial - Barra Faro-Olhão, resultante da comparação dos levantamentos de 2004 – 2005.

	Canal Cais Comercial - barra Faro-Olhão (2005-2004)			
	Vol.sedim.(m3)	Areas (m2)	Batim.(m)	% Areas
Acreção	894380	2538264	0.35	0.64
Erosão	-711269	1424168	-0.50	0.36
<b>Total</b>	<b>1605648</b>	<b>3962432</b>		
Meses	12			
Resultante s/ Drag.(m3)	183111			
Taxa Med.Anual s/ Drag.(m3/ano)	<b>183111</b>		0.05	
Taxas s/ Drag.(m3/mês)	15259			
Taxas s/ Drag.(m3/mês/m2)	0.004			
taxas s/ Drag.(m3/dia)	509		0.0001	
Dragagens (m3)	-335505			
Resultante c/ Drag.(m3)	518616			
Taxa Med.Anual c/ Drag.(m3/ano)	<b>518616</b>		0.13	
Taxas c/ Drag.(m3/mês)	43218			
taxas c/ Drag.(m3/dia)	1441			

Na figura 33 encontram-se representadas as áreas de erosão/sedimentação/estabilidade sedimentar determinadas pela sobreposição dos levantamentos topo-batimétricos de 2006 e 2005, do troço de canal Cais Comercial – barra Faro-Olhão, cujos resultados se encontram expressos no quadro 12, foi possível verificar que:

- as áreas erodidas representaram aproximadamente 293 hectares (74% do total) e as áreas sedimentadas 103 hectares (26%). As áreas de erosão dispuseram-se por todos os sectores deste canal e as áreas de sedimentação foram pouco significativas, e distribuíram-se nas se nas margens Este dos sectores B, C e D;

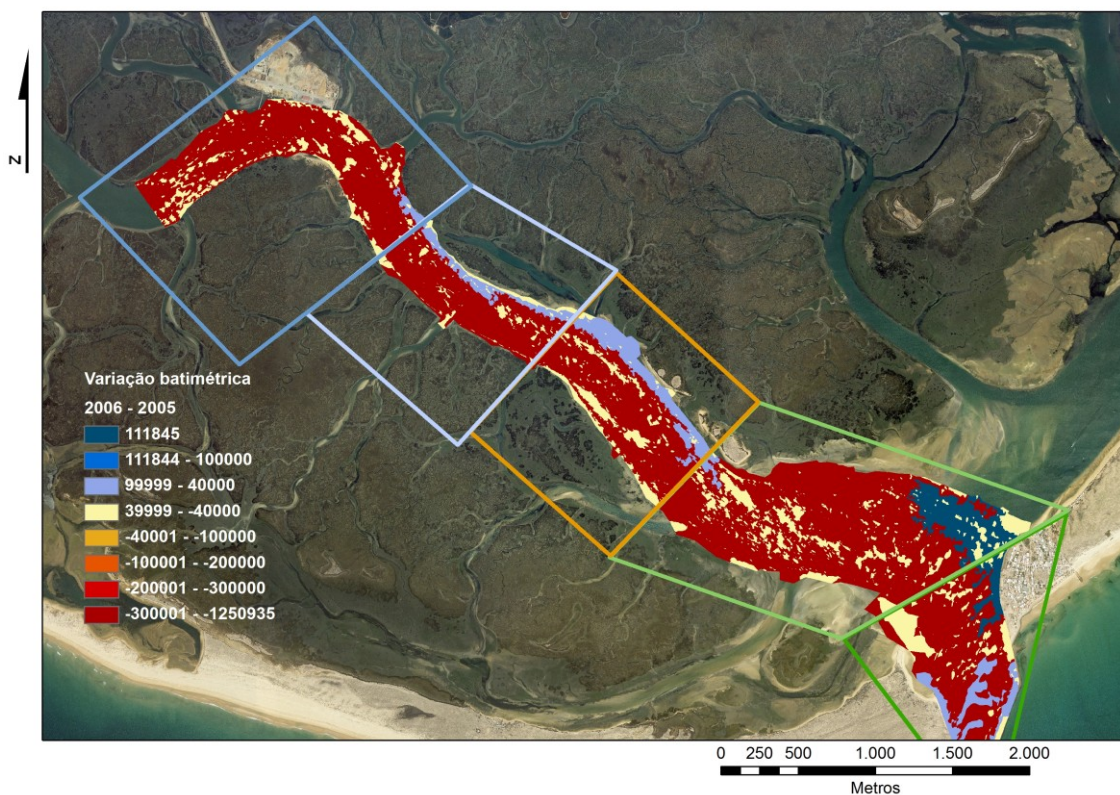


Figura 32- Zonas de erosão/sedimentação/estabilidade do troço Faro – Cais Comercial , de acordo com classificação: >7.5cm áreas de sedimentação muito elevada; 5 a 7.5cm

sedimentação elevada; 2.5 a 5cm sedimentação média; 1 a 2.5cm sedimentação baixa; 1 a -1cm estabilidade; -1 a -2.5cm erosão baixa; -2.5 a -5cm erosão média; -5 a -7.5cm erosão elevada; >-7.5cm erosão muito elevada (levantamentos de 2005 e de 2006 - sistema de coordenadas *Datum 73 Hayford Gauss IPCC*).

- os volumes de erosão envolvidos foram da ordem dos -1276570 m<sup>3</sup> e os de sedimentação de 519467 m<sup>3</sup>, que conferiram um balanço sedimentar negativo, da ordem dos -757000 m<sup>3</sup>/ano, a que esteve associada a um decréscimo médio da batimetria de -0.19 m/ano;

- quando contabilizados os volumes sedimentares dragados em 2005, no montante de -40000 m<sup>3</sup> (quadro 7), foi possível verificar que a taxa média anual de erosão foi estimada em -717103 m<sup>3</sup>/ano, e um decréscimo médio da batimetria de -0.18 m/ano.

Estes resultados apontaram para que durante o período 2006-2005 se tenha verificado uma tendência de erosão (de elevada magnitude) neste canal, que foi oposta à verificada no período anterior (2005-2004).

Quadro 12- Balanço sedimentar troço Cais Comercial - Barra Faro-Olhão, resultante da comparação dos levantamentos de 2005 – 2006.

	Canal Cais Comercial - barra Faro-Olhão (2006-2005)			
	Vol.sedim.(m3)	Areas (m2)	Batim.(m)	% Areas
Acessão	519467	1033344	0.50	0.26
Erosão	-1276570	2938748	-0.43	0.74
Total	1796037	3972092		
Meses	12			
Resultante s/ Drag.(m3)	-757103			
Taxa Med.Anual s/ Drag.(m3/ano)	-757103		-0.19	
Taxas s/ Drag.(m3/mês)	-63092			
Taxas s/ Drag.(m3/mês/m2)	-0.016			
taxas s/ Drag.(m3/dia)	-2103			
Dragagens (m3)	-40000			
Resultante c/ Drag.(m3)	-717103			
Taxa Med.Anual c/ Drag.(m3/ano)	-717103		-0.18	
Taxas c/ Drag.(m3/mês)	-59759			
taxas c/ Drag.(m3/dia)	-1992			

Quando analisada a sobreposição dos levantamentos de 2008 e de 2006, do troço de canal do Cais Comercial – barra Faro-Olhão, cujo *Cut and Fill* se encontra expresso na figura 34, e alguns resultados no quadro 13, foi possível constatar os seguintes resultados:

- as áreas erodidas representaram aproximadamente 127 hectares (32% do total) e as áreas sedimentadas 269 hectares (68%). As áreas de erosão encontraram-se espacialmente mais representadas no sector C, e com menor magnitude (<5 cm) nos sectores B, D e E embora com menor magnitude. As áreas de sedimentação distribuíram-se em todo o troço, mas com menor ocorrência no sector C;

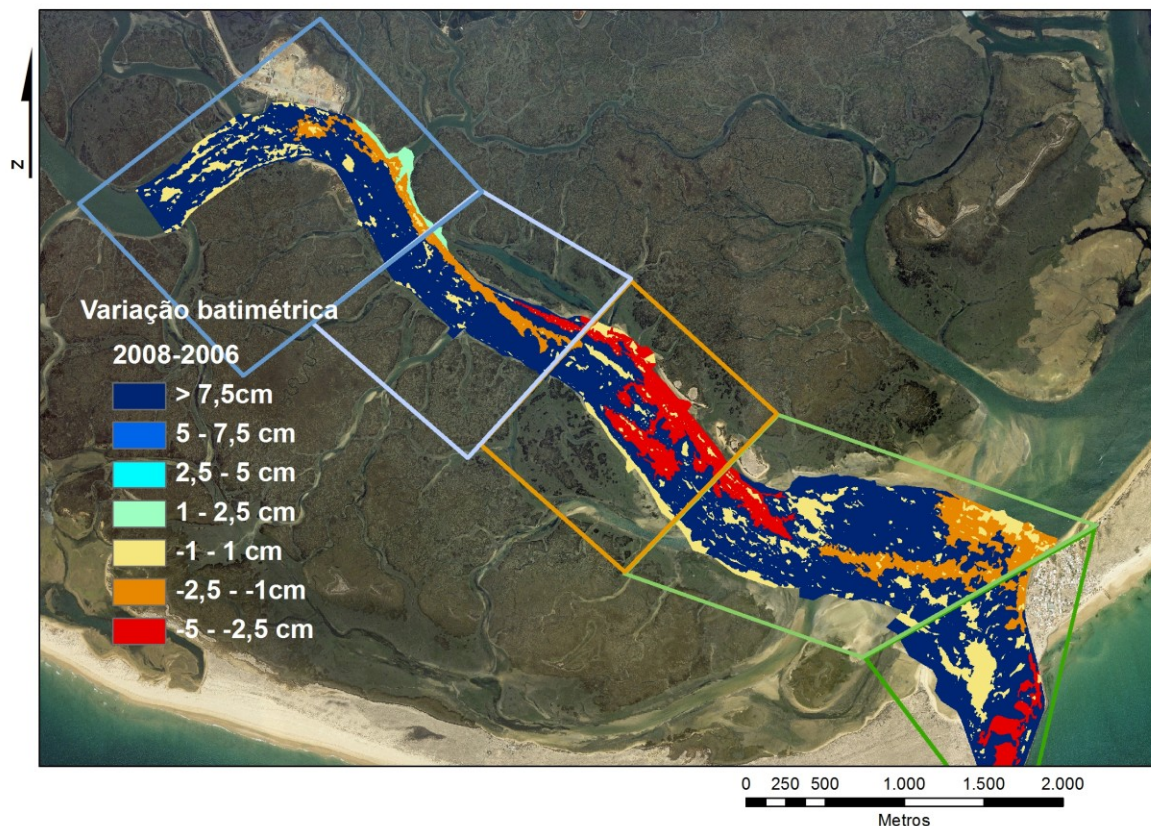


Figura 33 - Zonas de erosão/sedimentação/estabilidade do trecho Faro – Cais Comercial , de acordo com classificação: >7.5cm áreas de sedimentação muito elevada; 5 a 7.5cm sedimentação elevada; 2.5 a 5cm sedimentação média; 1 a 2.5cm sedimentação baixa; 1 a -1cm estabilidade; -1 a -2.5cm erosão baixa; -2.5 a -5cm erosão média; -5 a -7.5cm erosão elevada; >-7.5cm erosão muito elevada (levantamentos de 2006 e de 2008 - sistema de coordenadas Datum 73 Hayford Gauss IPCC).

- como não foram efetuadas dragagens no período 2006–2008, os volumes de erosão envolvidos foram da ordem dos  $-560720 \text{ m}^3$  e os de deposição de  $1449283 \text{ m}^3$ , que conferiram um balanço sedimentar positivo, da ordem dos  $888563 \text{ m}^3$  para os 24 meses em análise. A taxa média anual de sedimentação foi de  $444281 \text{ m}^3/\text{ano}$ , a que esteve associada a um aumento médio da batimetria de  $0.11 \text{ m/ano}$ .

Estes resultados apontaram para que durante o período 2008-2006 se tenha verificado uma tendência de sedimentação (de elevada magnitude) neste canal, que foi oposta à verificada no período anterior (2005-2004).

Quadro 13 - Balanço sedimentar troço Cais Comercial - Barra Faro-Olhão, resultante da comparação dos levantamentos de 2006 – 2008.

	Canal Cais Comercial - barra Faro-Olhão (2008-2006)			
	Vol.sedim.(m3)	Areas (m2)	Batim.(m)	% Areas
Acessão	1449283	2691216	0.54	0.68
Erosão	-560720	1277676	-0.44	0.32
<b>Total</b>	<b>2010003</b>	<b>3968892</b>		
Meses	24			
Resultante s/ Drag.(m3)	888563		0.22	
Taxa Med.Anual s/ Drag.(m3/ano)	444281		0.11	
Taxas s/ Drag.(m3/mês)	37023			
Taxas s/ Drag.(m3/mês/m2)	0.009			
taxas s/ Drag.(m3/dia)	1234		0.0003	
Dragagens (m3)	0			

Na figura 35 e quadro 14 encontram-se expressos os resultados referentes ao *Cut and Fill* resultante da sobreposição dos levantamentos de 2010 e de 2008, do troço de canal do Cais Comercial – barra Faro-Olhão, onde foi possível constatar os seguintes resultados:

- as áreas erodidas representaram aproximadamente 259 hectares (65% do total) e as áreas sedimentadas 138 hectares (35%). As áreas que sofreram erosão distribuíram-se por todo o canal;

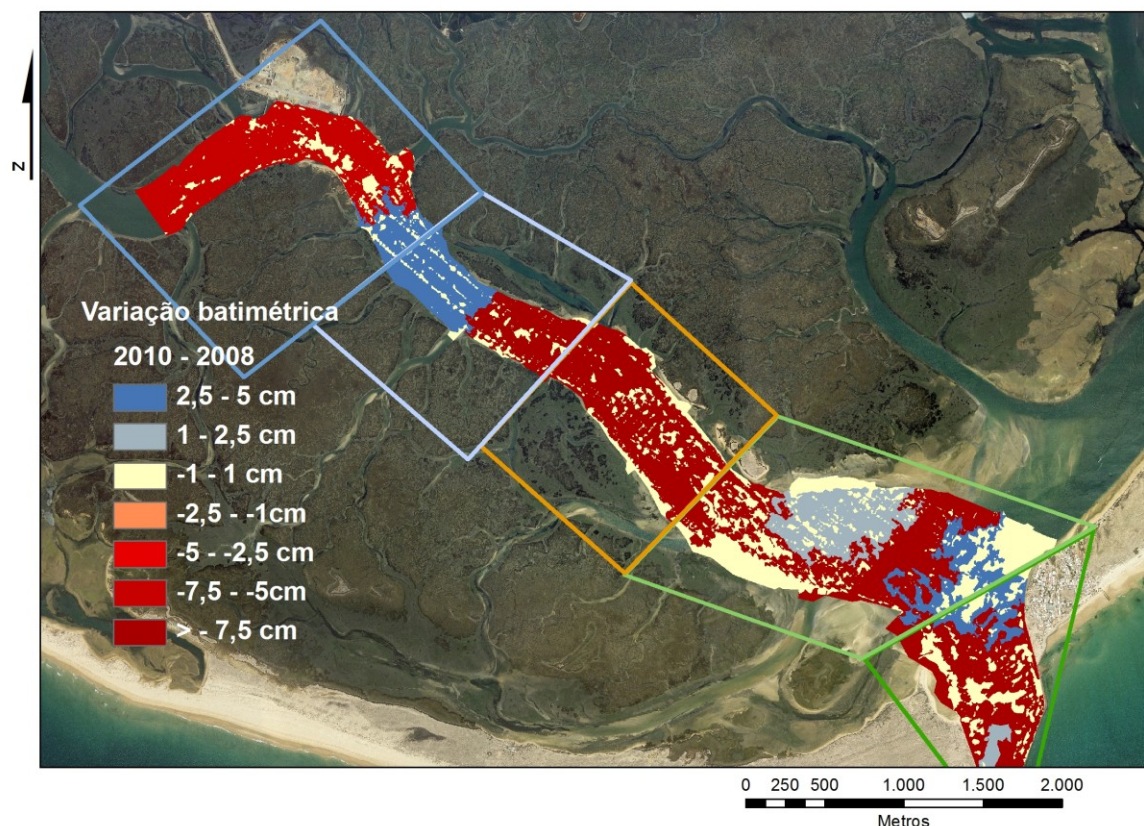


Figura 34 - Zonas de erosão/sedimentação/estabilidade do troço Faro – Cais Comercial , de acordo com classificação: >7.5cm áreas de sedimentação muito elevada; 5 a 7.5cm sedimentação elevada; 2.5 a 5cm sedimentação média; 1 a 2.5cm sedimentação baixa; 1 a -1cm estabilidade; -1 a -2.5cm erosão baixa; -2.5 a -5cm erosão média; -5 a -7.5cm erosão

elevada; >-7.5cm erosão muito elevada (levantamentos de 2008 e de 2010 - sistema de coordenadas *Datum 73 Hayford Gauss IPCC*).

- como não foram efetuadas dragagens no período 2010–2008, os volumes de erosão envolvidos foram da ordem dos -1228649 m<sup>3</sup> e os de sedimentação de 556765 m<sup>3</sup>, que conferiram um balanço sedimentar negativo, da ordem dos -671885 m<sup>3</sup> para os 23 meses em análise. A taxa média anual de erosão foi de -350549 m<sup>3</sup>/ano, a que esteve associada a um aumento médio da batimetria de -0.09 m/ano.

Estes resultados apontaram para que durante o período 2010-2008 se tenha verificado uma tendência de erosão (de elevada magnitude) neste canal, que foi oposta à verificada no período anterior (2008-2006).

Quadro 14 - Balanço sedimentar trecho Cais Comercial - Barra Faro-Olhão, resultante da comparação dos levantamentos de 2008 – 2010 (não foram realizados trabalhos de dragagem).

	Canal Cais Comercial - barra Faro-Olhão (2010-2008)			
	Vol.sedim.(m3)	Areas (m2)	Batim.(m)	% Areas
Acessão	556765	1381160	0.40	0.35
Erosão	-1228649	2595500	-0.47	0.65
Total	1785414	3976660		
Meses	23			
Resultante s/ Drag.(m3)	-671885			
Taxa Med.Anual s/ Drag.(m3/ano)	-350549		-0.09	
Taxas s/ Drag.(m3/mês)	-29212			
Taxas s/ Drag.(m3/mês/m2)	-0.007			
taxas s/ Drag.(m3/dia)	-974			
Dragagens (m3)	0			

Quando integrados todos os resultados anteriores respeitantes ao canal Cais Comercial - barra Faro-Olhão, foi possível constatar que:

- durante os anos que se registaram trabalhos de dragagem (2001, 2002, 2003, 2004, e 2005) registou-se uma alternância anual entre tendências de erosão e sedimentação. Nos dois últimos períodos (2010-2008 e 2008-2006) verificou-se uma alternância bianual (figura 36);

- este comportamento definido por uma alternância anual entre tendências de erosão e sedimentação, leva a sugerir que estimativas de volumes sedimentares calculadas nestes canais principais baseadas em séries cartográficas com um grande espaçamento temporal entre levantamentos topo-batimétricos, ocultam variações de tendências sedimentares de menor escala;

- a média das taxas médias anuais obtida a partir desta sobreposição de levantamentos entre 2001 e 2010, nestes 9 anos foi de -98172 m<sup>3</sup>/ano. Esta apresentou uma ordem de

grandeza abaixo das magnitudes obtidas por LNEC (2010 e 2011), uma vez que as calculadas por André *et al.* (2006) não coincidem temporalmente com esta análise (1994-2001);

- todas as taxas médias anuais de sedimentação registadas (períodos 2002-2003, 2004-2005, 2006-2008) definiram magnitudes de sedimentação muito elevadas ( $>300000\text{m}^3/\text{ano}$ , ou com aumentos médios da batimetria superiores a 7.5cm – de acordo com a classe definida no item 3.Métodos), reflectindo desta forma um hidrodinamismo muito elevado, que foi corroborado com o registo de megadunas em fundo arenoso nos sectores C, D e E (observáveis nos MDTs dos respectivos levantamentos, apresentados no apêndice A), de acordo com os critérios definidos em Department of the Army (1995) – figura 35;

- a taxa média anual de erosão registada em 2004-2003 foi considerada média por ter apresentado uma magnitude compreendida entre 100000 a  $-200000\text{m}^3/\text{ano}$  (ou por ter apresentado um decréscimo médio da batimetria compreendido entre os -2.5 e os -5cm, com magnitudes de respectivamente  $-160745\text{m}^3/\text{ano}$  e de -4cm). A taxa média anual de erosão registada em 2002-2001 de  $-223263\text{m}^3/\text{ano}$  foi considerada elevada por se ter enquadrado entre os  $-200000$  a  $-300000\text{m}^3/\text{ano}$  (ou -5 a -7.5cm), enquanto as restantes taxas médias anuais de erosão (2005-2006 e 2008-2010), de acordo com a figura 35. Estes resultados corroboram o elevado hidrodinamismo deste canal, tanto que mais as mega dunas de fundo são igualmente identificáveis nos levantamentos de 2005, 2006, 2008 e 2010 – Apêndice A;

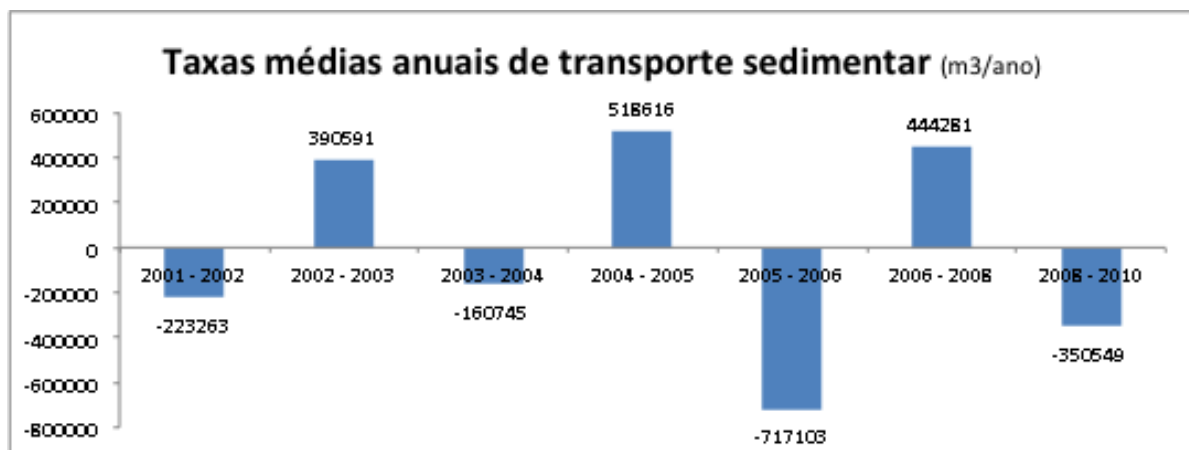


Figura 35 – Taxas médias anuais de sedimentação/erosão/estabilidade do troço de canal Cais Comercial – barra Faro-Olhão, de acordo com classificação adoptada com:  $>300000\text{m}^3/\text{ano}$  (ou  $>7.5\text{cm}$ ) áreas de sedimentação muito elevada;  $300000$  a  $200000\text{m}^3/\text{ano}$  (ou 7.5 a 5cm)

- quando analisadas as magnitudes dos volumes sedimentares de erosão, de sedimentação e da resultante do transporte sedimentar de fundo, para cada uma das 5 subáreas (ou sectores) em estudo neste canal, pode-se constatar que (quadro 15) o sector A apresentou uma elevada tendência média de erosão no período em estudo. Verifica-se também que os sectores D e E são os que apresentaram maior hidrodinamismo relativo (aos demais) justificado em parte pelo elevado volume total médio erodido+sedimentado (corroborado pela existência de megadunas, de acordo com Department of the Army, 1995) – figura 21.

Quadro 15 - Média dos volumes sedimentares do troço Cais Comercial - Barra Faro-Olhão, resultante da comparação de todos os levantamentos entre 2001 – 2010 (sem contabilizar os volumes dragados)

	<b>Média dos volumes sedimentares 2001 - 2010</b>				
	sector A	sector B	sector C	sector D	sector E
<b>acressão</b>	69834	68622	74646	190280	241059
<b>erosão</b>	-143459	-84626	-131036	-239254	-261333
<b>Total</b>	<b>213293</b>	<b>153248</b>	<b>205682</b>	<b>429533</b>	<b>502391</b>
<b>resultante</b>	-73626	-16003	-56390	-48974	-20274

### **Análise das secções transversais do canal Cais Comercial – barra Faro-Olhão**

Em cada um dos 5 sectores fisiográficos definidos para o canal Cais Comercial – barra Faro-Olhão, foram analisados 5 perfis transversais com uma localização expressa na figura 41, afim de possibilitar definir eventuais tendências temporais de migração das margens dos troços de canal. Todos os perfis efetuados encontram-se orientados da margem Oeste para a margem Este (nascente) do canal e foram determinados com base nos levantamentos de 1970, de 2001, de 2004 e de 2010.

O perfil transversal definido para o sector A, representado na figura 36, permitiu identificar que:

- na parte central do canal é evidente um perfil típico associado a trabalhos de dragagem (com um perfil de fundo muito geométrico), com o afundamento deste e com o aumento da largura no eixo do canal, entre os levantamentos de 1970 e 2001. Nos restantes levantamentos (2004 e 2010) verificou-se ter havido uma tendência de erosão;

- nas duas margens, verificou-se uma migração gradual destas no sentido da margem Leste (projetada na figura 41), fundamentado pela variação lateral no mesmo sentido das linhas de perfil.

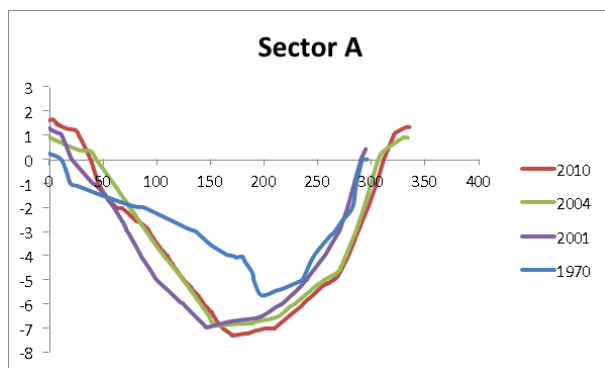


Figura 36- Perfis transversais no sector A do troço Cais Comercial - barra Faro-Olhão referentes aos levantamentos de 1970, de 2001, de 2004 e de 2010.

Na figura 37 encontram-se projetados os 4 perfis batimétricos transversais ao canal principal, correspondentes ao sector B, permitindo identificar que:

- na parte central do canal é notório um perfil típico associado a trabalhos de dragagem (mais profundo e mais largo no eixo do canal, com um perfil de fundo muito geométrico), ocorrido entre os levantamentos de 1970 e 2001;
- nas duas margens, verifica-se uma migração gradual no sentido da margem Leste (projetada na figura 41), fundamentado pela variação lateral no mesmo sentido das linhas de perfil. Esta migração apresentou com menor magnitude quando comparada com a o sector A.

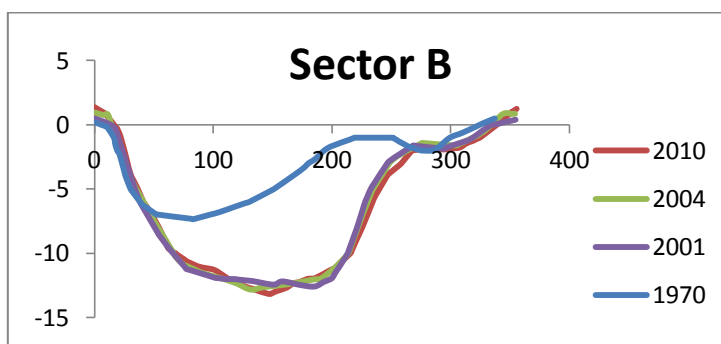


Figura 37 - Perfis transversais no sector B do troço Cais Comercial - barra Faro-Olhão referentes aos levantamentos de 1970, de 2001, de 2004 e de 2010.

Na figura 38 encontram-se projetados os 4 perfis batimétricos transversais ao canal principal, correspondentes ao sector C, permitindo verificar que:

- ocorreram trabalhos de dragagem entre os levantamentos de 1970 e 2001, fundamentados por aumento da profundidade máxima mas também pelo aumento da largura no eixo do canal (conferindo um perfil de fundo muito geométrico);

- nas margens, após 2001 parece ter havido uma estabilidade posicional (projetada na figura 41), fundamentada por uma sobreposição das linhas de perfil.

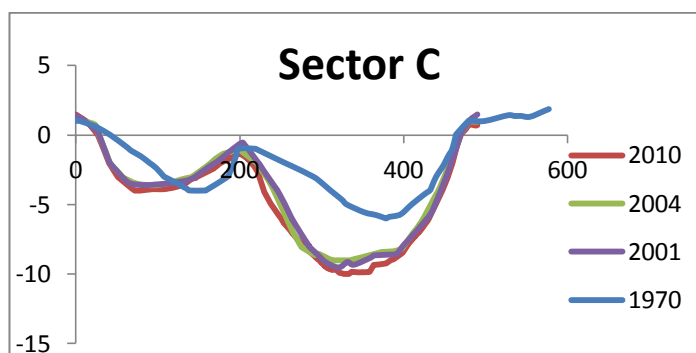


Figura 38 - Perfis transversais no sector C do troço Cais Comercial - barra Faro-Olhão referentes aos levantamentos de 1970, de 2001, de 2004 e de 2010.

Na figura 39 encontram-se projetados os 4 perfis batimétricos transversais ao canal principal, correspondentes ao sector D, permitindo determinar que:

- entre os levantamentos de 1970 e 2001 é evidente a realização de trabalhos de dragagem, justificados por um aumento da profundidade máxima, pelo aumento da largura no eixo do canal e por passar a apresentar um perfil de fundo mais geométrico;

- nas margens, após 2001 parece ter havido uma estabilidade posicional (projetada na figura 41), fundamentada por uma sobreposição das linhas de perfil.

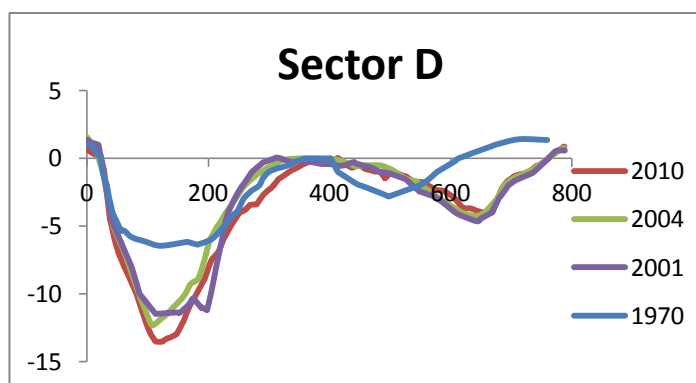


Figura 39 - Perfis transversais no sector D do troço Cais Comercial - barra Faro-Olhão referentes aos levantamentos de 1970, de 2001, de 2004 e de 2010.

Na figura 40 encontram-se projetados os 4 perfis batimétricos transversais ao canal principal, correspondentes ao sector E (embocadura), permitindo determinar que:

- entre os levantamentos de 1970 e 2001 torna-se evidente a realização de trabalhos de dragagem para realocação da barra Faro-Olhão para nascente, e nos levantamentos seguintes torna-se evidente a fixação da margem Este do canal da barra, para a posição atual. Na margem oposta, após 2001 parece ter havido uma estabilidade posicional (projetada na figura 41);

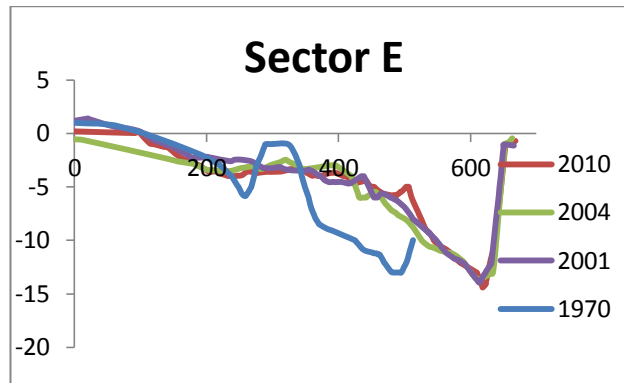


Figura 40 - Perfis transversais no sector E do troço Cais Comercial - barra Faro-Olhão referentes aos levantamentos de 1970, de 2001, de 2004 e de 2010.

Muito embora no âmbito deste trabalho se tenha recorrido uma abordagem metodológica diferente da utilizada por Pacheco *et al.* (2006), os resultados obtidos por ambos apontam tendências semelhantes. Em ambos os estudos verificou-se a tendência generalizada de migração no sentido da margem Este.

Tendo por base os levantamentos batimétricos analisados, pode-se constatar que no canal Cais Comercial – barra Faro-Olhão, nos sectores A e B verificou-se uma tendência de migração das margens do canal no sentido Este, enquanto nos sectores C, D e E ( mais próximos da barra e consequentemente associados a um maior hidrodinamismo), as suas margens tenderam a apresentar uma estabilidade temporal relativa.

As tendências anteriormente definidas no âmbito deste trabalho, podem ser consideradas válidas em eventuais previsões de tendências morfodinâmicas futuras, se estas estiverem dentro de um período de tempo similar ao usado para o seu cálculo com a sobreposição dos levantamentos, bem como, se as condições hidrodinâmicas ou fisiográficas dos canais não forem entretanto alteradas por intervenções antrópicas.

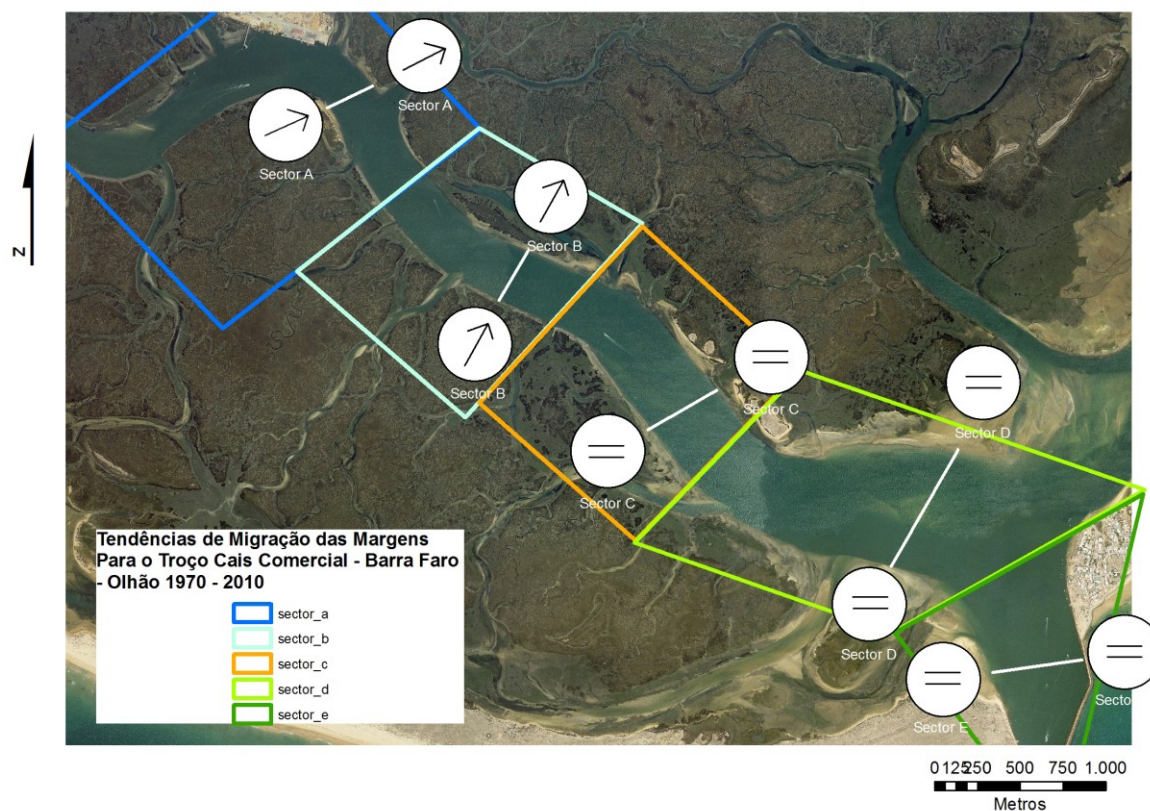


Figura 41 - Tendências de variação lateral das margens do canal Cais Comercial – barra Faro-Olhão, determinadas com base na análise dos perfis batimétricos transversais realizados nos levantamentos de 1970, de 2001, 2004 e de 2010.

#### 4.2.2. Troço Ilha da Culatra – Ilha da Armona

Neste item serão analisados os modelos digitais de terreno obtidos a partir da informação topo-batimétrica dos levantamentos de 1970 e de 2009 referentes ao troço de canal Ilha da Culatra – Ilha da Armona (figuras 42 e 43).

Tendo por base o MDT referente ao levantamento topo-batimétrico referente ao ano de 1970 (figura 42), foi possível determinar que a profundidade máxima de 21.4 m, encontrava-se localizada no extremo SO do troço deste canal, e uma altitude máxima de 4.6 m ao longo das margens. O troço Ilha da Culatra – Ilha da Armona possui classificação de canal principal em direção ao canal de olhão e classificação de canal secundário entre a povoação da Ilha da Culatra e a povoação da Ilha da Armona. Este troço apresenta uma orientação O – E. A parte mais profunda do trecho continuou a assegurar apenas no canal principal as condições necessárias para a navegação.

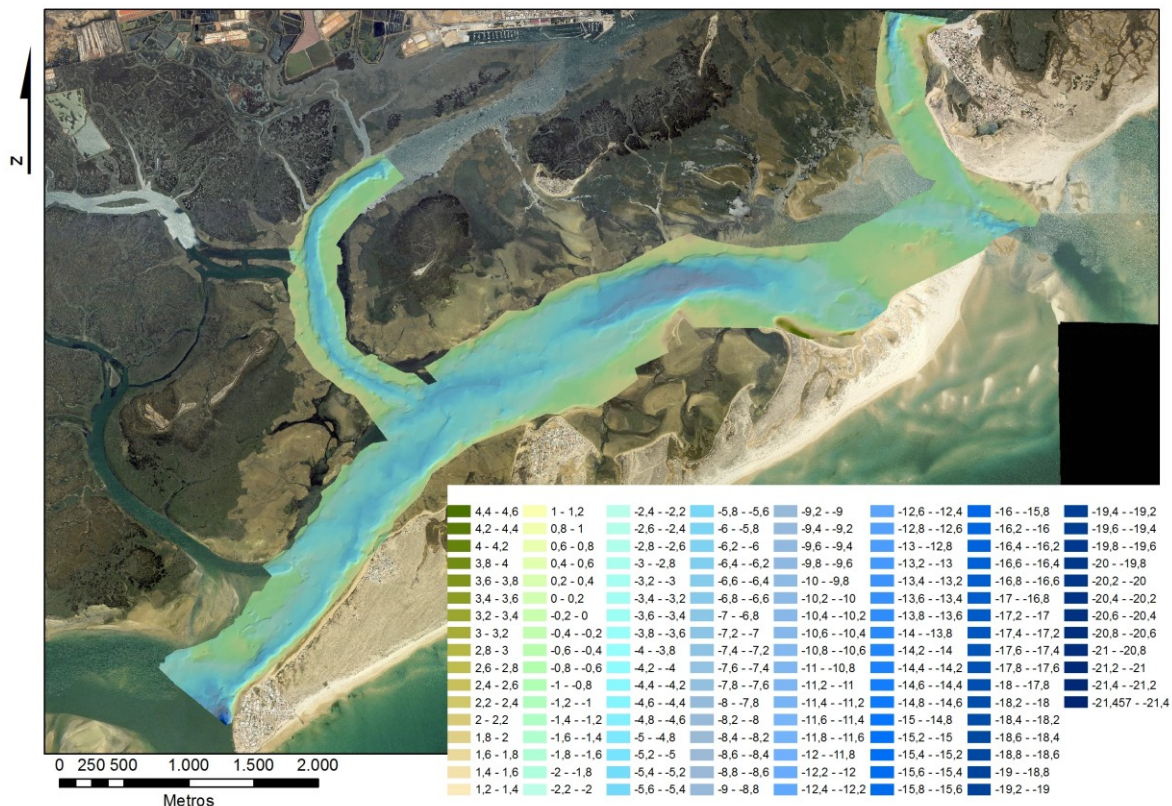


Figura 42 – MDT do troço Ilha da Culatra - Armona (levantamento de 1970 - sistema de coordenadas *Datum 73 Hayford Gauss IPCC*).

A figura 43 tem como base um ortofotomapa de 2005 onde se encontra representado um modelo digital de terreno relativo à variação batimétrica no troço em análise no ano de 2009. O MDT apresenta uma profundidade máxima de 13,8 m, situado no extremo E do troço na zona da barra da Armona, e uma altitude máxima de 2,4m. O troço Ilha da Culatra – Ilha da Armona possui classificação de canal principal em direção ao canal de olhão e classificação de canal secundário entre a povoação da Ilha da Culatra e a povoação da Ilha da Armona. Este troço apresenta uma orientação O – E . A parte mais profunda do trecho continua a assegurar apenas no canal principal as condições necessárias para a navegação.

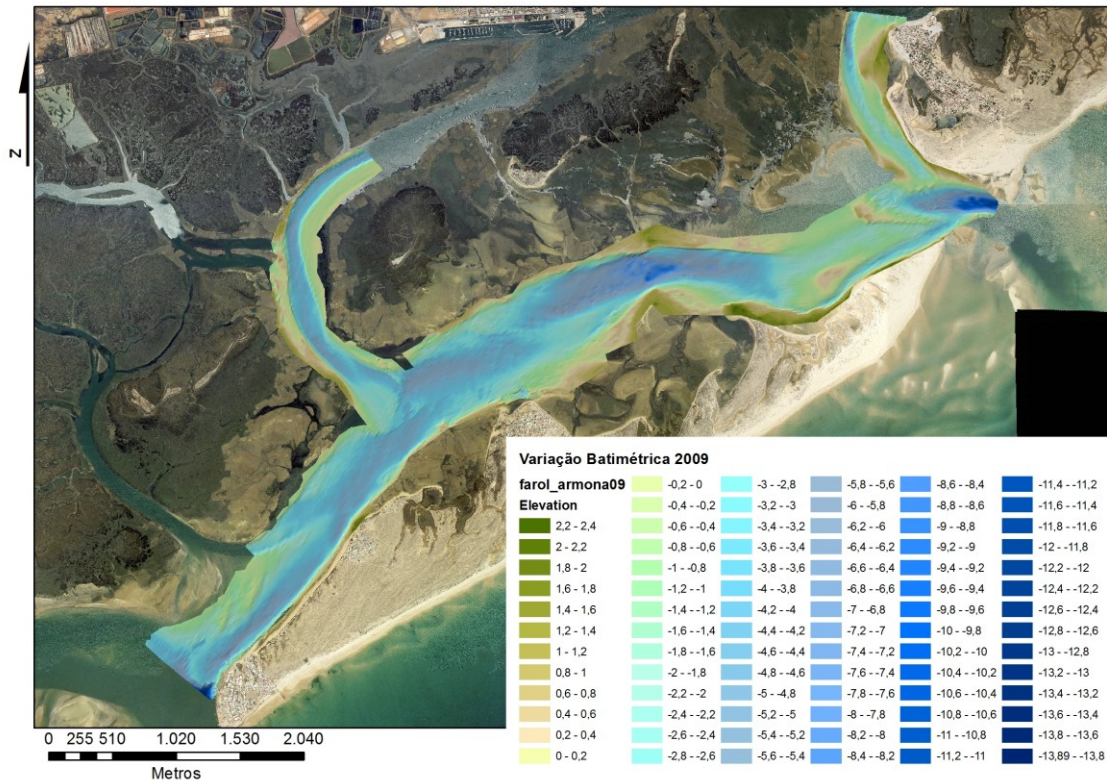


Figura 43 - MDT do trecho Ilha da Culatra - Armona (levantamento de 2009 - sistema de coordenadas Datum 73 Hayford Gauss IPCC).

Efetuada os cálculos das alterações batimétrica existentes entre os levantamentos de 1970 e 2009 constatou-se que as áreas erodidas representam aproximadamente 335 hectares (53% do total) e as áreas sedimentadas 299 hectares (473%).

Na figura 37 observou-se que a distribuição espacial das áreas sedimentares erodidas apresenta-se aparentemente aleatória não indicando fisiografias correspondentes a zonas com morfologias características de intervenção de trabalhos de dragagem. Este aspecto aponta para uma grande dinâmica nos fundos destes canais uma vez que colmataram anteriores trabalhos de dragagem que remontam ao ano 1998 - 1999.

Os volumes erodidos neste trecho foram de aproximadamente  $-2929045 \text{ m}^3$  e os volumes sedimentados foram de cerca  $1901548 \text{ m}^3$  existindo um balanço sedimentar negativo de  $-1027497 \text{ m}^3$  (Quadro 16). Porém, estes valores não contabilizaram os volumes sedimentares dragados nos trabalhos anteriores a 2000, por não se ter tido acesso a esta informação.

Durante o período compreendido entre 1970 e 2009 estimou-se uma taxa de erosão média de aproximadamente  $-2196 \text{ m}^3/\text{mês}$  representando um aumento de profundidade média de cerca  $-0,3\text{mm}/\text{mês}$ , uma altura média de sedimentação de  $0.64 \text{ m}$  e uma altura média de erosão de  $-0.87 \text{ m}$ .

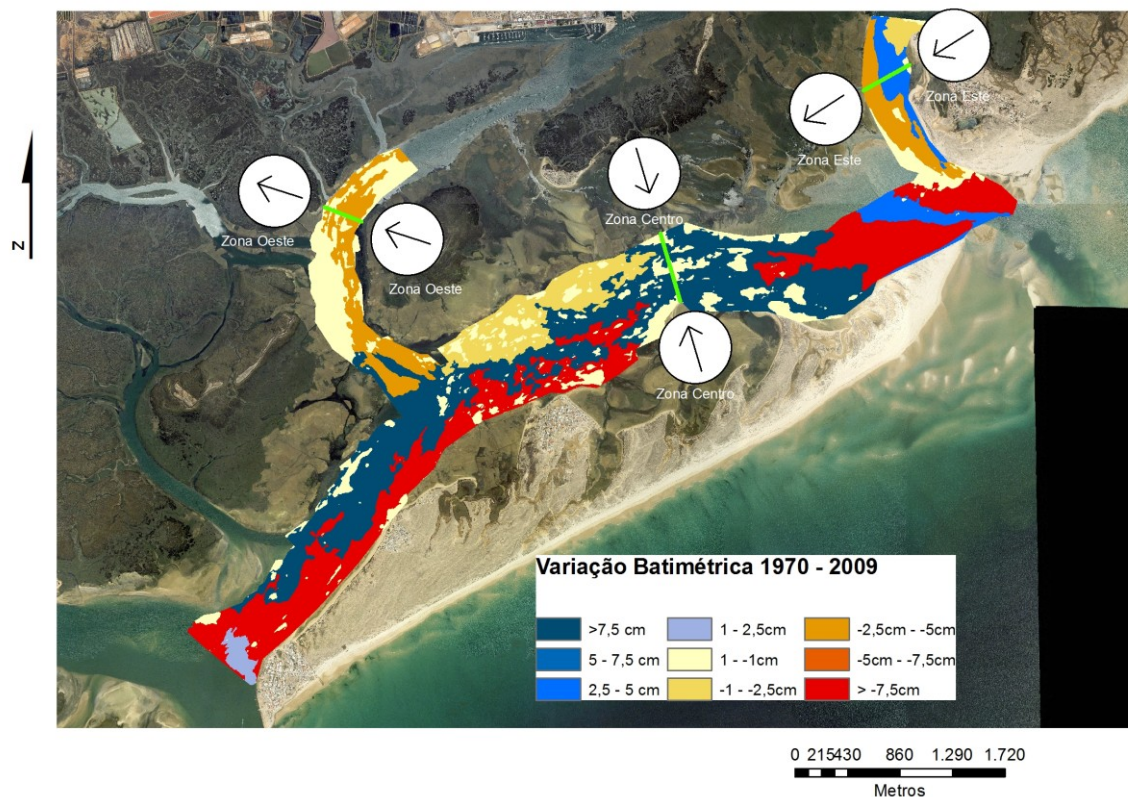


Figura 44 - Zonas de erosão/sedimentação/estabilidade do trecho Ilha da Culatra - Ilha da Armona, de acordo com classificação: >7.5cm áreas de sedimentação muito elevada; 5 a 7.5cm sedimentação elevada; 2.5 a 5cm sedimentação média; 1 a 2.5cm sedimentação baixa; 1 a -1cm estabilidade; -1 a -2.5cm erosão baixa; -2.5 a -5cm erosão média; -5 a -7.5cm erosão elevada; >-7.5cm erosão muito elevada (levantamentos de 1970 e de 2009 - sistema de coordenadas Datum 73 Hayford Gauss IPCC).

Quadro 16 - Balanço sedimentar trecho Ilha da Culatra - Ilha da Armona, resultante da comparação dos levantamentos de 1970 – 2009 (sem contabilizar os volumes dragados).

	Canal Barra do Farol - Barra da Armona (1970 - 2009)			
	Vol.sedim.(m3)	Areas (m2)	Batim.(m)	% Areas
<b>Acessão</b>	1901548	2991694	0.64	0.47
<b>Erosão</b>	-2929045	3349863	-0.87	0.53
<b>Total</b>	4830594	6341556		
Meses	468			
Resultante s/ Drag.(m3)	-1027497		-0.16	
Taxa Med.Anual s/ Drag.(m3/ano)	-26346		-0.004	
Taxas s/ Drag.(m3/mês)	-2196			
Taxas s/ Drag.(m3/mês/m2)	0.000			
taxas s/ Drag.(m3/dia)	-73			
Dragagens (m3)	?			

Os dados referentes ao Relatório 3 (3ª Fase) do LNEC (2011) baseiam-se numa comparação de cartas topo-batimétricas dos levantamentos dos anos de 1980 e de 2011. Nesse relatório analisou-se uma área de aproximadamente 611 hectares (menos 23 hectares que o

presente estudo), tendo-se obtido um balanço sedimentar negativo de cerca de  $-1446000 \text{ m}^3$  (mais  $444000 \text{ m}^3$  que o presente estudo). Apresentam igualmente uma variação de cota média de  $-0.23 \text{ m}$  contra os  $-0.16 \text{ m}$  obtidos entre 1970 – 2009.

Uma vez que estes resultados não contabilizam a década de 70 e apresentam valores do balanço sedimentar superiores ao presente estudo, parecem indicar uma tendência de assoreamento generalizada durante a década de 70.

### **Análise das secções transversais do canal Ilha da Culatra – Ilha da Armonia**

Neste troço de canal foram analisados 3 perfis transversais, com uma localização expressa na figura 44, afim de possibilitar definir eventuais tendências temporais de migração das margens dos troços de canal em estudo. Os perfis das Zonas Oeste e Este apresentam uma orientação nascente -> poente, enquanto o perfil Zona Centro, apresenta uma orientação Sul -> Norte.

O perfil transversal da Zona Oeste (figura 45.a) permitiu definir que no eixo do canal não se vislumbrou um perfil de fundo característico de zona de dragagem. Nas margens, verificou-se uma migração gradual destas no sentido da margem NO (projectada na figura 44), fundamentada pela variação lateral no mesmo sentido das linhas de perfil.

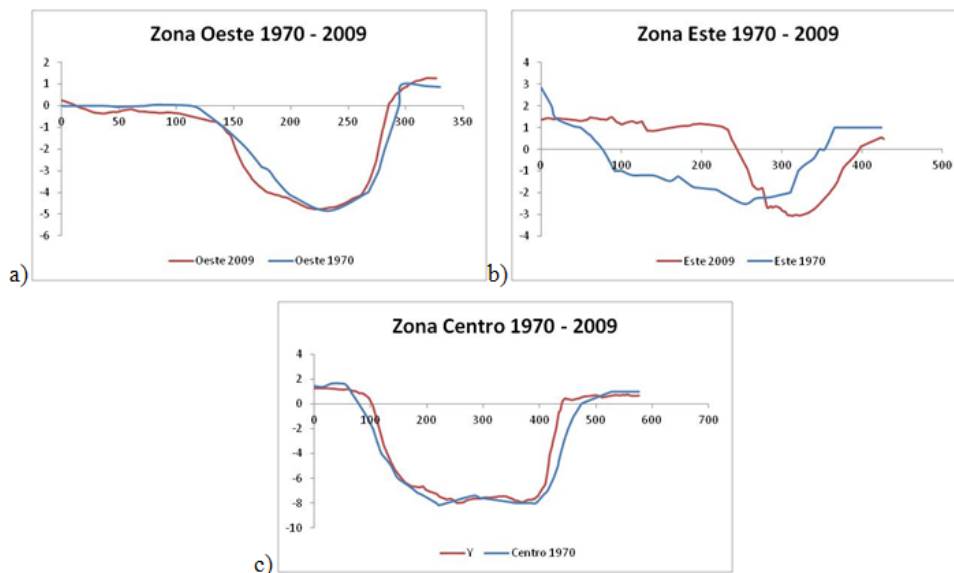


Figura 45 - Perfis transversais nos das Zonas: a) Oeste, b) Este e c) Centro, do canal Ilha da Culatra – Ilha da Armonia e referentes aos levantamentos topo-batimétricos de 1970 e de 2009.

Na Zona Este (figura 45.b) pode-se constatar uma forte migração lateral de todo o troço de canal, no sentido da margem poente, projectada na figura 44.

Na Zona Centro (figura 45.c) constatou-se uma tendência de convergência de ambas as margens no sentido do eixo do canal, não evidenciando perfil típico associado a trabalhos de dragagens.

#### 4.2.3. Troço do Canal de Olhão

Para o estudo morfodinâmico deste troço de canal, foram utilizados os modelos digitais de terreno com informação topo-batimétrica referente aos levantamentos de 1970 (figura 46) e ao levantamento de 2003 (figura 47).

No MDT referente ao levantamento de 1970, expresso na figura 46 encontra-se representada a variação batimétrica no troço em análise. O MDT apresentou uma profundidade máxima de 4.8 m situada na parte central do troço, junto à entrada para a doca de pesca de Olhão, e uma altitude máxima de 2 m localizada nas margens antropizadas, localizadas na zona de Olhão. O troço de Olhão possui a classificação de canal principal apresentando uma orientação O - E.

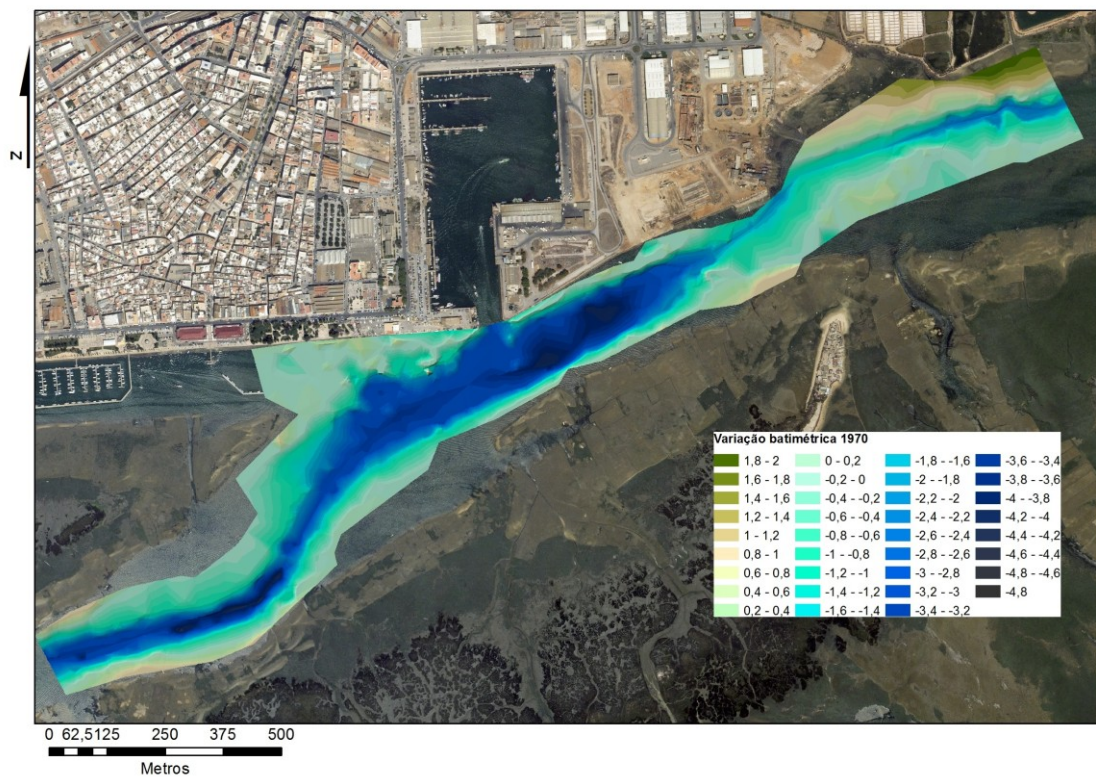


Figura 46 - MDT do troço Canal de Olhão (levantamento de 1970 - sistema de coordenadas Datum 73 Hayford Gauss IPCC).

A figura 47 encontra-se representado um modelo digital de terreno relativo à variação batimétrica no troço em análise referente ao ano de 2003. O MDT apresentou uma profundidade máxima de 5m, situado na parte central do troço, junto à entrada para a doca de pesca de Olhão, e uma altitude máxima de 2.6 m localizada nas margens antropizadas da zona de Olhão. O troço de Olhão possui classificação de canal principal apresentando uma orientação O – E.

Da análise desta figura, tornou-se possível identificar, que todo o troço deste canal apresentou uma fisiografia regularizada por trabalhos de dragagem, com uma disposição longitudinal muito regular, rectilínea composta por uma secção transversal de largura constante.

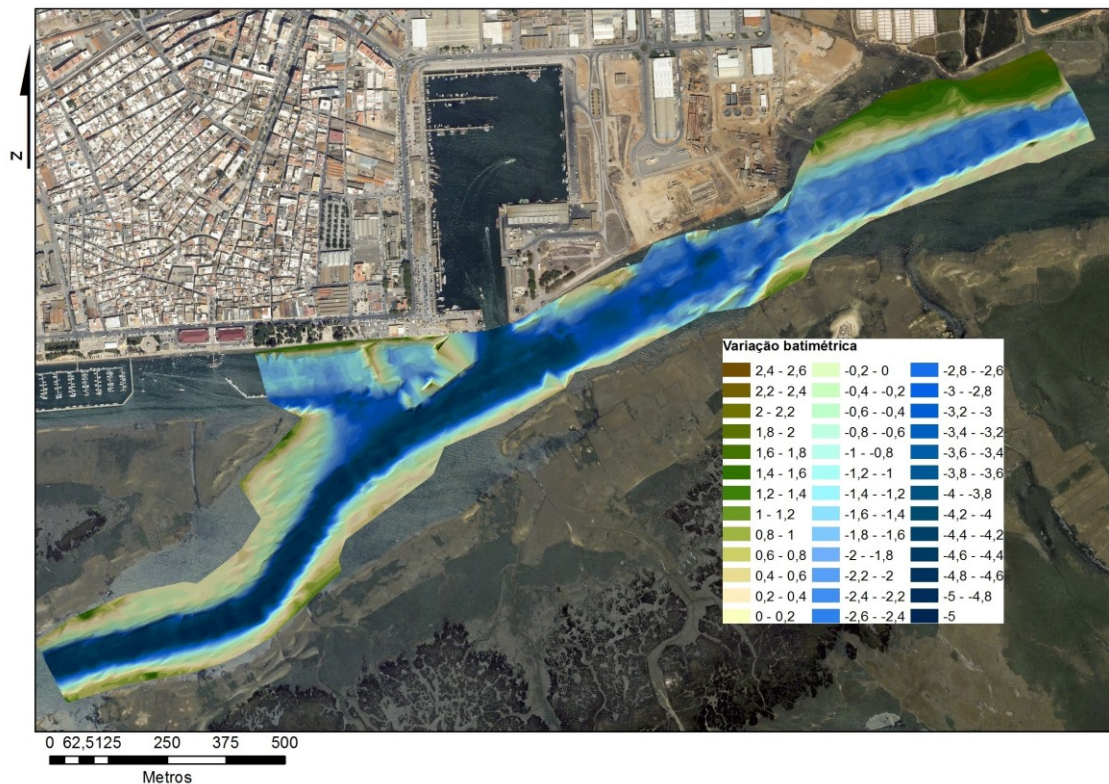


Figura 47 - MDT do troço Canal de Olhão (levantamento de 2003 - sistema de coordenadas Datum 73 Hayford Gauss IPCC).

Quando sobrepostos os referidos MDTs com recurso ao *Cut and Fill*, foi possível constatar que:

- as áreas erodidas representam aproximadamente 29 hectares (55% do total) e as áreas de sedimentação 24 hectares (45%). As áreas erodidas situam-se na parte central do

canal, com uma forma geométrica antrópica com bordos regulares e retilíneos correspondendo à zona balizada do canal.

- os volumes de erosão envolvidos foram da ordem dos  $-354765 \text{ m}^3$  e os depositados da ordem dos  $120443 \text{ m}^3$ , traduzindo um balanço sedimentar negativo, favorável à erosão da ordem dos  $-234323 \text{ m}^3$  (Quadro 17). Estes resultados apontaram para uma taxa de erosão de aproximadamente  $-11326 \text{ m}^3/\text{ano}$ , a que lhe esteve associada um aumento da profundidade média de cerca  $-0.02 \text{ m/ano}$ . Não foi possível ter tido acesso aos volumes de dragados referentes aos trabalhos de 1998-1999 para este sector:

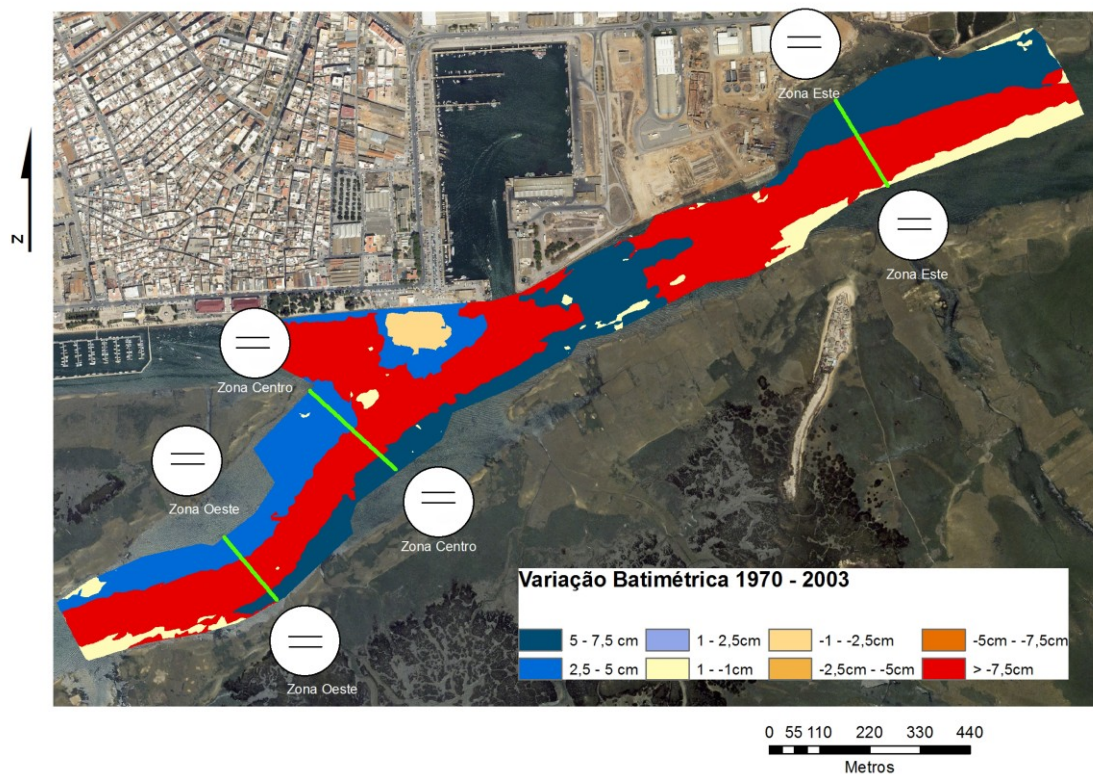


Figura 48 - Zonas de erosão/sedimentação/estabilidade do troço Canal de Olhão, de acordo com classificação:  $>7.5\text{cm}$  áreas de sedimentação muito elevada; 5 a 7.5cm sedimentação elevada; 2.5 a 5cm sedimentação média; 1 a 2.5cm sedimentação baixa; 1 a -1cm estabili

A única informação quantitativa relativa a dragados e que se conseguiu obter foi referente à zona de construção do porto de recreio de Olhão, que não consta totalmente do troço estudado.

As grandes diferenças registadas entre os volumes e as áreas de erosão e de sedimentação, estiveram claramente associadas a trabalhos de dragagem que não foram contabilizados no tratamento da informação.

Quadro 17 - Balanço sedimentar trecho canal de Olhão, resultante da comparação dos levantamentos de 1970 – 2003 (sem contabilizar os volumes dragados em 1998-99).

	Canal Olhão (1970 - 2003)			
	Vol.sedim.(m3)	Areas (m2)	Batim.(m)	% Areas
Acessão	120443	244340	0.49	0.45
Erosão	-354765	297806	-1.19	0.55
Total	475208	542146		
Meses	396			
Resultante s/ Drag.(m3)	-234323		-0.43	
Taxa Med.Anual s/ Drag.(m3/ano)	-7101		-0.01	
Taxas s/ Drag.(m3/mês)	-592			
Taxas s/ Drag.(m3/mês/m2)	-0.001			
taxas s/ Drag.(m3/dia)	-20			
Dragagens (m3)	?			

### Análise das secções transversais do canal de Olhão

Neste trecho de canal foram analisados 3 perfis transversais, com uma localização expressa na figura 44, afim de possibilitar definir eventuais tendências temporais de migração lateral das suas margens no canal em estudo. A orientação dos perfis transversais resultantes das Zonas Oeste, Este e Centro foram de Sul para Norte.

Os perfis transversais da Zona Oeste, Este e Central do canal de Olhão, expressos na figura 45 permitiram associar o eixo do canal a um perfil de fundo característico de zona de dragagens, e as suas margens associar a uma tendência de estabilidade, definida por um aumento da cota batimétrica relacionada com a deposição de inertes nos viveiros de marisco.

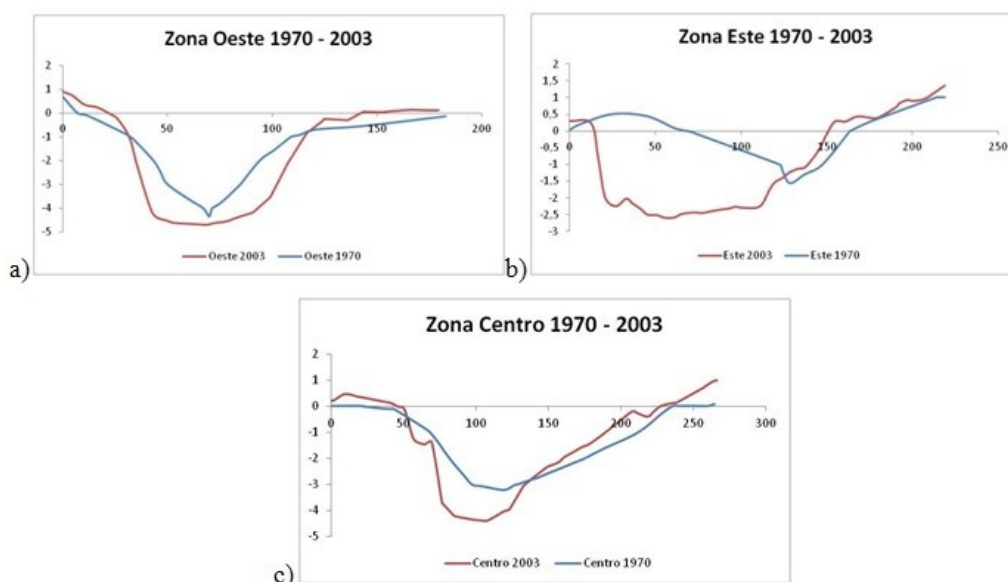


Figura 49 - Perfis transversais nos das Zonas: a) Oeste, b) Este e c) Centro, do canal de Olhão, referentes aos levantamentos topo-batimétricos de 1970 e de 2003.

#### 4.2.4. Troço de canal Olhão – ilha da Armona

Para o estudo morfodinâmico deste troço de canal, foram utilizados os modelos digitais de terreno com informação topo-batimétrica referente aos levantamentos de 1970 e de 2000 (figuras 50 e 51).

Na figura 50, onde está representado um modelo digital de terreno relativo à variação batimétrica do ano de 1970, o MDT apresentou uma profundidade máxima de 7.4 m no extremo Sul deste troço de canal, e uma altitude máxima de 2m nas margens antropizadas, da zona de Olhão. O troço Canal de Olhão - Ilha da Armona possui classificação de canal secundário apresentando uma orientação O – SE.

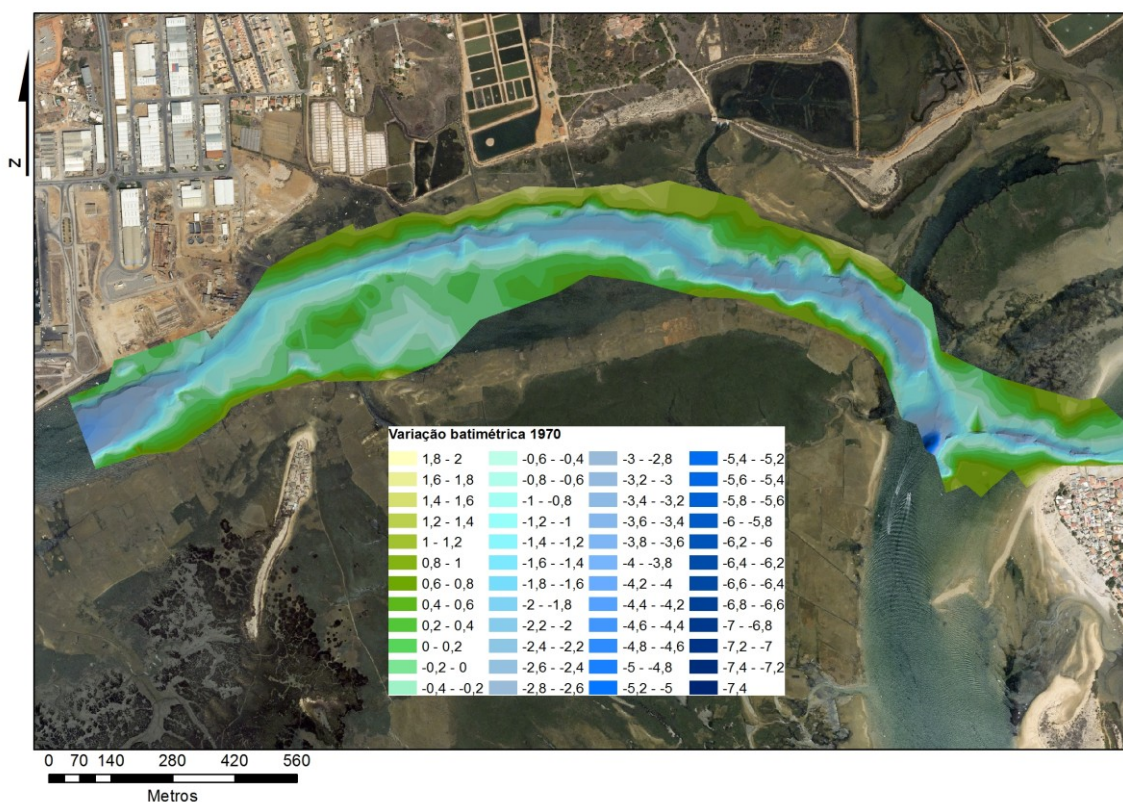


Figura 50 – MDT do troço Canal de Olhão - Ilha da Armona (levantamento de 1970 - sistema de coordenadas Datum 73 Hayford Gauss IPCC).

A figura 51 representa o modelo digital de terreno relativo à variação batimétrica no troço em análise para o ano de 2000. Este MDT apresentou uma profundidade máxima de -4.7 m, situado no extremo Sul do troço, e uma altitude máxima de 4.6 m. O troço Canal de Olhão

- Ilha da Armona possui uma classificação de canal secundário, apresentando uma orientação O – SE .

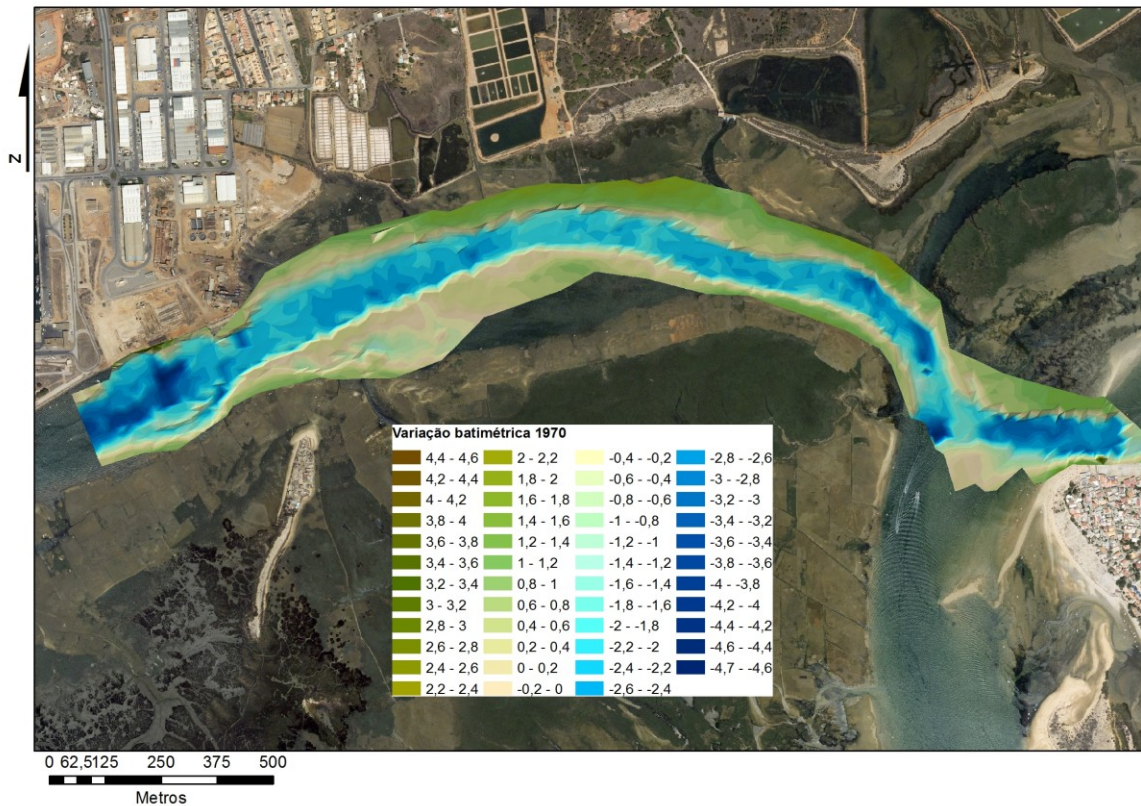


Figura 51 - MDT do trecho Canal de Olhão - Ilha da Armona (levantamento de 2000 - sistema de coordenadas Datum 73 Hayford Gauss IPCC).

Quando sobrepostos os MDTs dos levantamentos de 1970 e 2000, com recurso ao *Cut and Fill*, cujos resultados se encontram expressos na figura 52 e no quadro 18, foi possível constatar que:

- as áreas erodidas representam aproximadamente 29 hectares (50% do total) e as áreas sedimentadas 28.5 hectares (50%);

- s volumes erodidos neste trecho foram de aproximadamente 293369 m<sup>3</sup> e os volumes sedimentados da ordem dos 117970 m<sup>3</sup>, conferindo um balanço sedimentar negativo da ordem dos -175399 m<sup>3</sup> (Quadro 18);

- durante o período compreendido entre 1970 e 2000 estimou-se uma taxa de erosão de aproximadamente -487 m<sup>3</sup>/mês não contabilizando qualquer dragagem efetua, representando um aumento da altura média de erosão de -0.01 m;

- a análise das áreas e volumes erodidos e sedimentados (quadro 18) claramente indiciam trabalhos de dragagem realizados entre estes dois levantamentos, uma vez que: i) as

áreas envolvidas apresentaram formas geométricas na parte central do canal correspondendo à zona balizada para navegação; ii) por estas áreas terem sido retalhadas por zonas de sedimentação, preferencialmente localizadas junto à margem E – NE; iii) não se teve acesso a informação referente ao volume dragado mas possivelmente estes trabalhos terão sido desenvolvidos entre 1998/1999; iv) à semelhança do canal Cais Comercial – barra Faro-Olhão os volumes dragados terão sido da mesma ordem de grandeza que os volumes declarados.

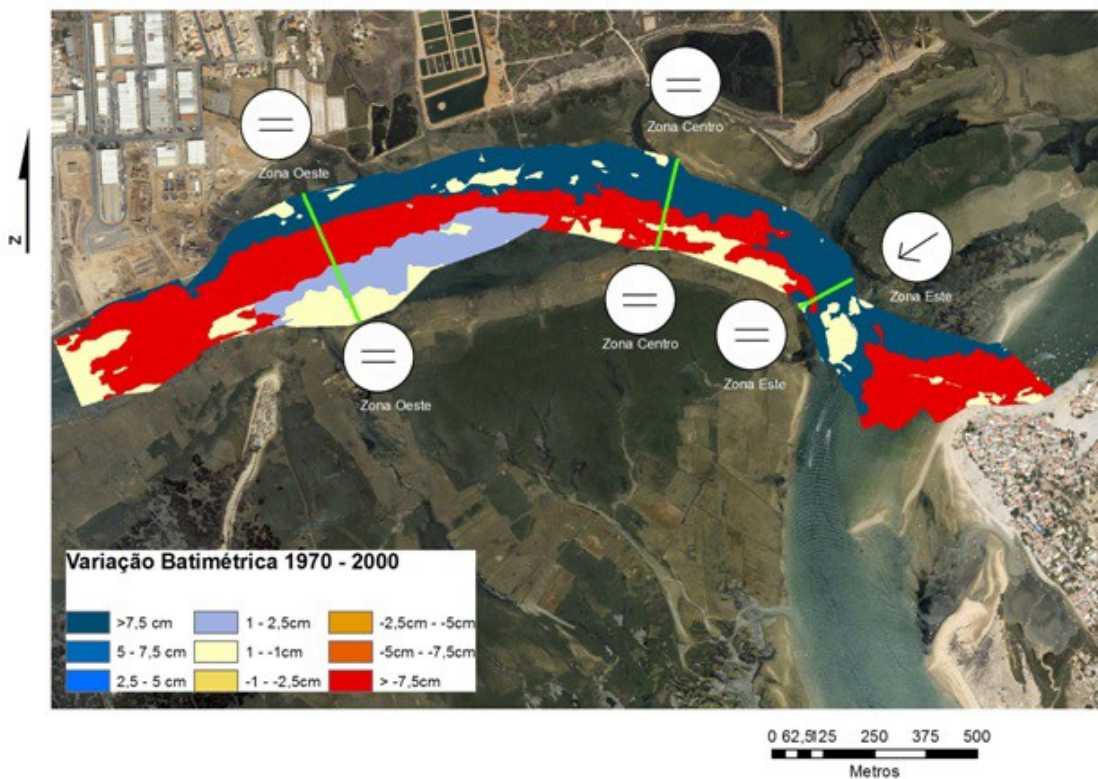


Figura 52 - Zonas de erosão/sedimentação/estabilidade do troço Canal de Olhão - Ilha da Armona, de acordo com classificação: >7.5cm áreas de sedimentação muito elevada; 5 a 7.5cm sedimentação elevada; 2.5 a 5cm sedimentação média; 1 a 2.5cm sedimentação baixa;

Quadro 18- Balanço sedimentar trecho canal de Olhão - Ilha da Armona, resultante da comparação dos levantamentos de 1970 – 2000 (sem contabilizar os volumes dragados).

	Canal Olhão - ilha da Armona (1970 - 2000)			
	Vol.sedim.(m3)	Areas (m2)	Batim.(m)	% Areas
<b>Acessão</b>	117970	285631	0.41	0.50
<b>Erosão</b>	-293369	289020	-1.02	0.50
<b>Total</b>	<b>411339</b>	<b>574651</b>		
Meses	360			
Resultante s/ Drag.(m3)	-175399		-0.31	
Taxa Med.Anual s/ Drag.(m3/ano)	-5847		-0.01	
Taxas s/ Drag.(m3/mês)	-487			
Taxas s/ Drag.(m3/mês/m2)	-0.001			
taxas s/ Drag.(m3/dia)	-16		-0.00003	
Dragagens (m3)	?			

### **Análise das secções transversais do canal de Olhão**

Neste trecho de canal foram analisados 3 perfis transversais, com uma localização expressa na figura 52, afim de possibilitar definir eventuais tendências temporais de migração lateral das suas margens no canal em estudo. A orientação dos perfis transversais resultantes das Zonas Oeste, Este e Centro foram de Sul para Norte.

Os perfis transversais da Zona Oeste, Este e Central do canal de Olhão – ilha da Armona, expressos na figura 53 permitiram associar o eixo do canal a um perfil de fundo característico de zona de dragagens, e as suas margens associar a uma tendência de estabilidade, definida por um aumento da cota batimétrica relacionada com a deposição de inertes nos viveiros de marisco, com exceção do perfil transversal Este, margem nascente que apresentou uma ligeira tendência de migração para poente, durante o período em estudo.

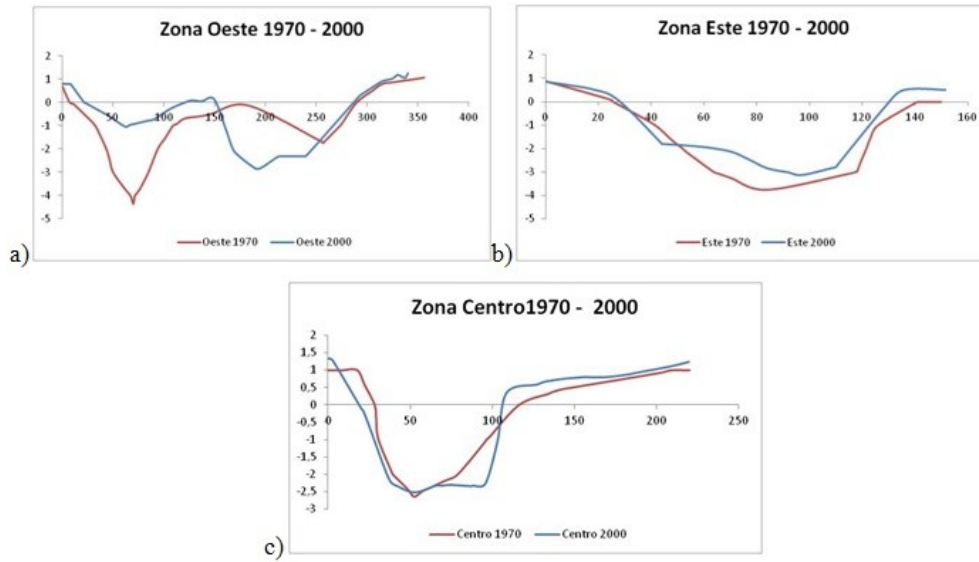


Figura 53 - Perfis transversais nos das Zonas: a) Oeste, b) Este e c) Centro, do canal de Olhão Ilha da Armona, referentes aos levantamentos topo-batimétricos de 1970 e de 2000.

## 5. Conclusões

### Variações batimétricas e volumétricas

- Foram calculadas taxas médias anuais (TMA) de sedimentação e erosão para os canais principais da ria Formosa:

- no canal Faro – Cais Comercial, foi obtida uma  $TMA_{1970-2003} \approx -11326 \text{ m}^3/\text{ano}$ , com tendência de aumento de profundidade média  $\approx -0.02\text{m}/\text{ano}$ , para o período 1970 e o de 2003;

- no canal Cais Comercial – Barra Faro-Olhão, foi definida uma  $TMA_{1970-2010} \approx -3170 \text{ m}^3/\text{ano}$ , com tendência de aumento de profundidade média  $\approx -0.001\text{m}/\text{ano}$ , para o período 1970-2010;

Feita uma análise mais detalhada, à escala anual, tendo por base 8 levantamentos, foram determinadas TMAs com base nos levantamentos de 2001, 2002, 2003, 2004, 2005 e 2006 que permitiram definir uma alternância anual entre tendências de erosão e de sedimentação. Nos períodos 2010-2008 e 2008-2006 foi possível definir uma alternância bianual, de acordo com as seguintes magnitudes:

$TMA_{2002-2001} \approx -223263 \text{ m}^3/\text{ano}$ , com tendência de aumento de profundidade média  $\approx -0.06\text{m}/\text{ano}$ , definindo uma erosão elevada no canal;

$TMA_{2003-2002} \approx +390591 \text{ m}^3/\text{ano}$ , com tendência de decréscimo da profundidade média  $\approx 0.1\text{m}/\text{ano}$ , definindo uma sedimentação muito elevada;

$TMA_{2004-2003} \approx -160745 \text{ m}^3/\text{ano}$ , com tendência de aumento de profundidade média  $\approx -0.04\text{m}/\text{ano}$ , definindo uma erosão moderada;

$TMA_{2005-2004} \approx +518616 \text{ m}^3/\text{ano}$ , com tendência de decréscimo da profundidade média  $\approx 0.13\text{m}/\text{ano}$ , definindo uma sedimentação muito elevada;

$TMA_{2006-2005} \approx -717103 \text{ m}^3/\text{ano}$ , com tendência de aumento de profundidade média  $\approx -0.18\text{m}/\text{ano}$ , definindo uma erosão muito elevada;

$TMA_{2008-2006} \approx +444281 \text{ m}^3/\text{ano}$ , com tendência de decréscimo da profundidade média  $\approx 0.11\text{m}/\text{ano}$ , definindo uma erosão muito elevada;

$TMA_{2010-2008} \approx -350549 \text{ m}^3/\text{ano}$ , com tendência de aumento de profundidade média  $\approx -0.09\text{m}/\text{ano}$ , definindo uma erosão muito elevada.

O valor médio destas últimas taxas médias anuais, para o período 2010-2001 foi de  $TMA_{2010-2001} \approx -98172 \text{ m}^3/\text{ano}$ , definindo uma erosão moderada para o canal.

- Porém, não foi possível definir com exatidão várias taxas médias anuais de sedimentação e/ou erosão para alguns dos troços dos canais (nomeadamente para o canal do Ancão, canal do Ramalhete, canal Ilha da Culatra – Armona, canal de Olhão e canal Olhão – ilha da Armona) uma vez que não foi possível contabilizar os volumes sedimentares associados às dragagens considerando os volumes dragados, por não se ter tido acesso a esta informação.

- As taxas médias anuais de sedimentação e/ou erosão calculados no âmbito deste trabalho, para os troços dos canais Cais Comercial – barra Faro-Olhão; ilha da Culatra – ilha da Armona, apresentaram as mesmas tendências de variação, mas com magnitudes inferiores, quando comparados com os obtidos por outros autores, nomeadamente LNEC (2010, 2011) e Pacheco *et al.* (2004, 2006), por o cálculo das primeiras ter abrangido um período de tempo entre levantamentos muito mais amplo.

### **Tendências de meandrização**

Com base na batimetria dos anos de 1970, 2003, 2009 e 2010 no canal Ramalhete, no canal Faro - Cais Comercial e nos sectores A e B do canal Cais Comercial – barra Faro-Olhão, permitiram corroborar tendências de propagação lateral dos canais associadas a processos de meandrização, que refletiram disposições geográficas das zonas mais profundas dos canais junto à margem côncava e as zonas mais assoreadas mais próximas das margens convexas.

### **Morfodinâmica dos canais principais**

No troço de canal Cais Comercial – Barra Faro-Olhão, mais propriamente nos sectores C, D e E, referentes aos levantamentos batimétricos de 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2008 e 2010 foi possível identificar megadunas em fundos arenosos, que quando coadjuvadas com taxas médias anuais sedimentares muito elevadas, quer de erosão, quer de sedimentação, quando coadjuvadas com elevados volumes totais médios erodidos+sedimentados entre levantamentos, permitiram atribuir um hidrodinamismo muito elevado a estes sectores do canal em estudo.

Entre o canal do Cais Comercial – Barra Faro-Olhão e o canal Faro – Cais Comercial, foi possível relacionar a morfodinâmica destes canais, não só pelo facto de eles estarem relacionados fisiograficamente (estando em conectividade junto ao sapal da vasa da Galé),

mas também por os volumes totais de sedimento em transporte (volumes de erosão+sedimentação) determinarem um gradiente longitudinal, com magnitudes inferiores para montante, que se terá relacionado com o decréscimo para montante do prisma de maré e consequentemente com um decréscimo no hidrodinamismo ao longo destes dois troços de canal.

Não foi possível definir comparações morfodinâmicas espacialmente mais abrangentes na ria Formosa pelo facto de não ter sido possível contabilizar os volumes sedimentares associados aos trabalhos dragagens realizados entre levantamentos, o que veio a inviabilizar o cálculo com exactidão de várias taxas médias anuais de sedimentação e/ou erosão para alguns dos troços dos canais (nomeadamente para o canal do Ancão, canal do Ramalhete, canal Ilha da Culatra – Armona, canal de Olhão e canal Olhão – ilha da Armona).

### **Previsões de tendências morfodinâmicas**

No âmbito deste trabalho, considera-se que os vários parâmetros morfodinâmicos determinados no âmbito deste trabalho (designadamente: as taxas médias anuais de sedimentação e de erosão; as tendências médias de aumento ou diminuição da batimetria; as tendências de variação de volumes; as tendências de migração dos sectores dos canais, ...) podem servir para a elaboração de previsões de tendências futuras, caso o período de tempo a prever diste um tempo similar ao usado para o seu cálculo, bem como, as condições hidrodinâmicas ou fisiográficas dos canais não sejam entretanto alteradas por intervenções antrópicas.

### **Trabalhos futuros**

Como trabalhos futuros pretende-se dar continuidade à execução de modelos digitais de terreno e consecutiva análise de tendências de migração das margens e de macro formas de fundo assim como cálculo de balanços erodidos/sedimentados/estabilizados.

Pretende-se ainda definir ambientes supramareais, intermareais e submareais integrando dados de campo obtidos no *Projecto MaréFormosa* nos modelos digitais de terreno calculados ao longo do estudo.

Porém, para tornar os dados já obtidos no âmbito deste trabalho mais fiáveis seria da maior importância cruza-los com os levantamentos topo-batimétricos, deste sistema lagunar, dos anos 1980, 1985 e 1994.

## 6. Bibliografia

- Abreu, A. e Machado, M. (2000)** – *Sedimentos e comunidades da Ria Formosa estado actual dos conhecimentos*. Universidade do Algarve, Relatório final
- Andrade, C. (1990)** O ambiente de barreira da Ria Formosa (Algarve-Portugal). Tese de Doutoramento. Universidade de Lisboa
- Arnaud-Fassetta, G. , Bertrand, F. , Costa, S. , Davidson, R. (2006)** The eastern lagoon marshes of the Ria Formosa (Southern Portugal): Sediment-vegetation dynamics, long-term to short-term changes and perspective. *Continental Shelf Research*. Vol. 26, pp 363 - 384
- Carrasco, A.R. , Ferreira, Ó. , Davidson M. , Matias, A. , Dias, J.A. (2008)** An evolutionary categorisation model for backbarrier environments. *Marine Geology*. Vol. 251, pp 156-166
- Ceia, F. (2009)** – Barrier-Islands Vulnerability and Ria Formosa Dynamics under a Management Viewpoint. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 9(1): 57-77
- 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
- FitzGerald, D.M. (1996)** Geomorphic Variability and Morphologic and Sedimentologic Controls on Tidal Inlets. *Journal Coastal Resource SI* 23, 47-71.
- Laboratório Nacional de Engenharia Civil (2010)** *Valorização Hidrodinâmica da Ria Formosa e Mitigação do Risco nas Ilhas Barreira*. Relatório 2: Valorização Hidrodinâmica da Laguna. 1ª e 2ª Fases
- Laboratório Nacional de Engenharia Civil (2011)** *Valorização Hidrodinâmica da Ria Formosa e Mitigação do Risco nas Ilhas Barreira*. Relatório 3: Valorização Hidrodinâmica da Laguna. 3ª Fase - Proposta de medidas correctivas
- Pacheco, A. (2010)** *Hydrodynamic and Sediment Fluxes through the Inlets of the Ria Formosa*. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade do Algarve
- Pacheco, A. , Carrasco, A.R, Vila-Concejo, A. , Ferreira, Ó, Dias, A.J. (2006)** Recent Evolution of Faro Channel and its Association to the Dredging Operations (Algarve, Portugal). *Journal of Coastal Research*. SI. 39, pp 572 – 577
- Pacheco, A. , Vila-Concejo, A. , Ferreira, Ó, Dias, A.J. (2003)** Recent Bathymetric Evolution of the Faro Channel (Algarve, Portugal). Special Volume on the 4th Symposium of the Atlantic Iberian Continental Margin, *Thalassas*, 19(2b) 166-168.
- Pacheco, A. , Williams, J.J. , Ferreira, Ó. , Garel, E. , Vila-Concejo, A. , Dias, A.J. (2010)** Hydrodynamics and equilibrium of a multiple-inlet system. *Marine Geology*. Vol. 274, pp 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*. Vol. 95, pp 119 - 134
- Picado, A. , Dias J.M. , Fortunato A.B. (2010)** Tidal changes in estuarine systems induced by local geomorphologic modifications. *Continental Shelf Reserch*. Vol. 30, pp 1854 – 1864
- 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(2), 239-261.
- Salles, P. , Voulgaris, G. , Aubrey, D.G. (2005)** Contribution of non linear mechanisms in the persistence of multiple tidal inlet systems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. Vol. 65, pp 475 – 491
- Teles, M. , Barata, A. (1997)** Mathematical Modeliing Study of the Interventions for Correction of the Faro-olhão Entrance.
- Vicente, C.M. , Clímaco, M. (1995)** Ria Formosa: Análise Global das Condições Naturais, Rel. 168/95 – NET, LNEC, Lisboa.
- Vila-Concejo, A. , Matias, A. , Ferreira, Ó. , Dias, J.A. (2003)** The first two years of an inlet: sedimentary dynamics. *Continental Shelf Research*. Vol. 23, pp 1425 - 1445
- Vila-Concejo, A. , Matias, A. , Pacheco, A. , Ferreira, Ó. , Dias, J.A. (2006)** Quantification of inlet-related hazards in barrier island systems. An example from the Ria Formosa (Portugal). *Continental Shelf Research*. Vol. 26, pp 1045 – 1060
- Weibel, R. , Heller, M. (1991)** Digital Terrain Modeling. Geographical Information Systems: Principles and Applications. London: Longman, pp 269-297

## 7. Apêndice A – Modelos digitais de terreno de levantamentos de diferentes anos no trecho de canal Cais Comercial – barra Faro-Olhão

