



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

**PROGRAMA DE MONITORIZAÇÃO
DA HIDRODINÂMICA DAS DRAGAGENS
DA ZONA SUPERIOR DA LAGOA DE ÓBIDOS**

Relatório 3 – Fase de pós-obra



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

**PROGRAMA DE MONITORIZAÇÃO
DA HIDRODINÂMICA DAS DRAGAGENS
DA ZONA SUPERIOR DA LAGOA DE ÓBIDOS**

Relatório 3 – Fase de pós-obra

Agência Portuguesa do Ambiente, I.P.

Lisboa • novembro 2023

I&D HIDRÁULICA E AMBIENTE

RELATÓRIO 367/2023 – **DHA/NEC**



Título

PROGRAMA DE MONITORIZAÇÃO DA HIDRODINÂMICA DAS DRAGAGENS DA ZONA SUPERIOR DA LAGOA DE ÓBIDOS

Relatório 3 – Fase de pós-obra

Autoria

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E AMBIENTE

Luís I. Portela

Investigador Auxiliar, Chefe do Núcleo de Estuários e Zonas Costeiras

Paula Freire

Investigadora Auxiliar, Núcleo de Estuários e Zonas Costeiras

André B. Fortunato

Investigador-Coordenador, Núcleo de Estuários e Zonas Costeiras

Alberto Azevedo

Investigador Auxiliar, Núcleo de Estuários e Zonas Costeiras

Copyright © LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, I. P.

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA

e-mail: lnec@lnec.pt

www.lnec.pt

Relatório 367/2023

Proc. 0604/1201/22751

PROGRAMA DE MONITORIZAÇÃO DA HIDRODINÂMICA DAS DRAGAGENS DA ZONA SUPERIOR DA LAGOA DE ÓBIDOS

Relatório 3 – Fase de pós-obra

Resumo

O *Programa de Monitorização das Dragagens da Zona Superior da Lagoa de Óbidos*, promovidas pela Agência Portuguesa do Ambiente, destina-se a acompanhar a evolução das condições hidrodinâmicas e da morfologia da lagoa. Apresentam-se neste relatório os resultados relativos à fase de pós-obra. Na zona inferior da lagoa, entre abril de 2022 e outubro de 2023, o canal da embocadura manteve uma posição relativamente estável no terço central do cordão litoral, sem situações de fecho da embocadura. Na zona superior da lagoa, a comparação dos levantamentos hidrográficos de pós-dragagem (março de 2022) e de monitorização após 20 meses (novembro de 2023) indicam que a zona intervencionada de canais (braço da Barrosa, foz do rio Real e braço do Bom Sucesso) e bacias (braço da Barrosa e foz do rio Real) apresentou uma taxa de assoreamento moderada ($0,23 \text{ m ano}^{-1}$). Assim, estima-se que os efeitos da intervenção de dragagem na redução da acumulação sedimentar na zona superior da lagoa sejam relativamente duradouros.

Palavras-chave: Evolução morfológica / Hidrodinâmica / Assoreamento / Lagoa costeira

HYDRODYNAMIC MONITORING PROGRAMME OF THE DREDGING OF THE UPPER ZONE OF ÓBIDOS LAGOON

Report 3 – Post-dredging phase

Abstract

The *Monitoring Programme of the Dredging of the Upper Zone of Óbidos Lagoon*, promoted by the Portuguese Environment Agency, aims to monitor the evolution of the hydrodynamic conditions and the morphology of the lagoon. This report presents the results obtained during the post-dredging phase. In the lower part of the lagoon, between April 2022 and November 2023, the entrance channel remained in a relatively stable position in the central part of the sand barrier, with no situations of entrance closure. In the upper part of the lagoon, a comparison between the post-dredging survey (March 2022) and the monitoring survey 20 months later (November 2023) indicates that the intervened area of channels (Barrosa, mouth of the Real River and Bom Sucesso) and basins (Barrosa and mouth of the Real River) showed a moderate sedimentation rate ($0,23 \text{ m year}^{-1}$). It is therefore estimated that the effects of the dredging intervention in reducing sediment accumulation in the upper part of the lagoon will be relatively long-lasting.

Keywords: Morphologic evolution / Hydrodynamics / Sedimentation / Coastal lagoon

Índice

1	Introdução e objetivos	1
1.1	Enquadramento.....	1
1.2	Objetivos e estrutura do relatório.....	1
2	Dragagens da zona superior da Lagoa de Óbidos	3
2.1	Características gerais da lagoa	3
2.2	Projeto de execução e empreitada	4
3	Descrição dos dados e metodologia de análise	5
3.1	Deteção remota.....	5
3.2	Topo-hidrografia.....	5
3.3	Hidrodinâmica	6
3.3.1	Agitação marítima	6
3.3.2	Níveis no mar.....	6
3.3.3	Níveis na Lagoa de Óbidos.....	7
4	Caracterização morfológica	9
4.1	Setor inferior da lagoa.....	9
4.2	Setor superior da lagoa.....	12
5	Caracterização da hidrodinâmica.....	17
6	Conclusões.....	19
	Referências bibliográficas	21

Índice de figuras

Figura 2.1 – Localização da Lagoa de Óbidos na costa ocidental portuguesa, no trecho costeiro Nazaré- Peniche (créditos: World Imagery - Esri)	3
Figura 2.2 – Planeamento da empreitada: fase 0 (fonte: Agência Portuguesa do Ambiente).....	4
Figura 3.1 – Agitação marítima em frente à Lagoa de Óbidos durante o período em análise (outubro de 2021 e maio de 2022). Os pontos referem-se às medições nas boias MONICAN01 e MONICAN02 do Instituto Hidrográfico. As linhas correspondem a simulações de <i>hindcast</i> do ECMWF na boia MONICAN01	6
Figura 3.2 – Modelo regional de maré do LNEC: malha e domínio de cálculo do modelo.....	7
Figura 3.3 – Marégrafo instalado no Cais da Foz do Arelho (janeiro de 2022)	8
Figura 3.4 – Níveis medidos no Cais da Foz do Arelho entre 23 de outubro de 2021 e 23 de maio de 2022	8
Figura 4.1 – Setor inferior da Lagoa de Óbidos. Aspetos da evolução do canal de embocadura: A – 04/04/2022; B – 01/09/2022; C – 26/02/2023 e D – 08/07/2023. Imagens Sentinel-2.....	9
Figura 4.2 – Imagens NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) de 04/04/2022 (A) e 09/10/2023 (B) (retiradas do <i>Sentinel Hub EO Browser</i>).....	10
Figura 4.3 – Evolução da posição do canal de embocadura no cordão litoral entre 23/03/2016 e 09/10/2023, deduzida de imagens de satélite Sentinel-2. Valores positivos correspondem à posição do canal a norte do eixo longitudinal da lagoa e negativos a sul. As barras verticais correspondem a situações em que o canal esteve fechado	11
Figura 4.4 – Levantamento topo-hidrográfico da zona superior da lagoa em setembro de 2004	12
Figura 4.5 – Levantamento hidrográfico da área intervencionada em março de 2022 (pós-dragagem).....	13
Figura 4.6 – Levantamento hidrográfico de monitorização pós-obra realizado em novembro de 2023.....	14
Figura 4.7 – Comparação dos levantamentos de março de 2022 e novembro de 2023.....	14
Figura 4.8 – Evolução da zona superior da lagoa em imagens de satélite de elevada resolução de maio de 2022 (pós-dragagem) e maio de 2023 (após 12 meses) (fonte: GoogleEarth)...	15
Figura 4.9 – Evolução da zona superior da lagoa em imagens de satélite Sentinel-2 de abril de 2022 (pós-dragagem) e outubro de 2023 (após 18 meses) (fonte: dataspace.copernicus.eu) .	16
Figura 5.1 – Propagação da maré para o interior da Lagoa de Óbidos entre outubro de 2021 e maio de 2022: a) quociente entre a amplitude nas estações do Cais do Arelho e no mar; b) amplitude da maré	18
Figura 5.2 – Propagação da maré para o interior da Lagoa de Óbidos entre outubro de 2021 e maio de 2022: a) assimetria da maré (diferença entre as durações da enchente e da vazante); b) amplitude da maré	18

1 | Introdução e objetivos

1.1 Enquadramento

A Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. (APA) tem vindo a executar intervenções na Lagoa de Óbidos, de forma faseada, com base no Plano de Gestão Ambiental elaborado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P. (LNEC), com o objetivo de contrariar o assoreamento progressivo da lagoa e de melhorar a sua qualidade ambiental.

Na sequência da emissão da Declaração de Impacte Ambiental (DIA) e da Decisão de Conformidade Ambiental do Projeto de Execução (DCAPE) das Dragagens da Zona Superior da Lagoa de Óbidos, foi estabelecido um programa de monitorização da hidrodinâmica e da morfologia da lagoa nas áreas de afetação direta e indireta, nas fases de pré-obra, obra e pós-obra.

O programa de monitorização tem os seguintes objetivos:

- a) acompanhar a evolução da lagoa, nomeadamente através da monitorização da evolução da morfologia das zonas emersas e imersas, da topo-hidrografia e posição dos canais e das bacias, da barra e do cordão dunar frontal e da faixa costeira adjacente à lagoa na zona de deposição dos sedimentos;
- b) avaliar os padrões de sedimentação ao longo da execução do projeto, de forma a estimar os volumes das dragagens de manutenção (em fase de pós-obra);
- c) identificar a existência e/ou a tendência para a alteração do equilíbrio lagunar, detetando atempadamente situações críticas de assoreamento e antecipando a necessidade de intervenções corretivas;
- d) definir ações ou medidas a tomar, no imediato ou no futuro, de forma que os fatores geradores de impactes negativos sejam minimizados ou atempadamente corrigidos.

1.2 Objetivos e estrutura do relatório

No presente relatório apresentam-se e discutem-se os resultados do programa de monitorização correspondentes à fase de pós-obra, isto é, à evolução ocorrida no ano seguinte à conclusão das dragagens, em cumprimento do disposto nos Termos de Referência.

A intervenção de dragagem decorreu entre setembro de 2021 e março de 2022, sendo que a sua conclusão estava inicialmente prevista para outubro de 2022 (APA, 2021).

Os objetivos do presente relatório são:

- Caracterizar a maré no interior da lagoa (dados de outubro de 2021 a maio de 2022; não foi possível continuar a obter registos maregráficos na fase de pós-obra devido à demolição do cais onde estava instalado o marégrafo);

- Analisar os principais elementos morfológicos, incluindo o posicionamento do canal da embocadura no cordão litoral, com base em imagens de deteção remota (foco na fase de pós-obra, entre abril de 2022 e outubro de 2023);
- Caracterizar a topo-hidrografia, com base num novo levantamento da zona superior da lagoa na área intervencionada (novembro de 2023) e sua comparação com o correspondente levantamento realizado no final da obra (março de 2022);
- Analisar globalmente os resultados e interpretar a evolução e o estado atual da lagoa.

O relatório está organizado em 5 secções, além da presente introdução. Na secção 2 é apresentado o projeto das dragagens da zona superior da Lagoa de Óbidos. Na secção 3, descrevem-se os dados de monitorização e as metodologias utilizadas. Os resultados relativos à morfologia e à hidrodinâmica são apresentados nas secções 4 e 5, respetivamente. Note-se que por indisponibilidade de registos maregráficos após maio de 2022, a secção 3.3 e a secção 5 abordam essencialmente a fase de obra, já analisada em Portela *et al.* (2022). Na secção 6 apresentam-se as principais conclusões.

2 | Dragagens da zona superior da Lagoa de Óbidos

2.1 Características gerais da lagoa

A Lagoa de Óbidos (39°25'N, 09°13'W; Figura 2.1) situa-se na costa oeste de Portugal continental, entre o promontório da Nazaré e o Cabo Carvoeiro, a sul da Foz do Arelho. Possui uma orientação geral NW-SE com largura e comprimento máximos de 1,8 km e 4,5 km, respetivamente, e uma área de cerca de 6,9 km² (Portela, 1999; Freire *et al.*, 2004). O cordão litoral arenoso na zona da embocadura possui uma extensão de cerca de 1,5 km, sendo a ligação ao mar não permanente. Do ponto de vista morfológico e sedimentar, distinguem-se duas zonas diferentes na lagoa, inferior e superior. A zona inferior caracteriza-se pela maior variabilidade morfológica resultante da ação da agitação marítima e das correntes de maré e pela preponderância de sedimento arenoso. A zona superior corresponde à área montante da lagoa, incluindo o braço da Barrosa (margem direita), o braço do Bom Sucesso e a Poça das Ferrarias (margem esquerda) e a foz do rio Real. Nesta zona superior, o sedimento evidencia um aumento da fração fina, sendo constituído predominantemente por silte e argila, mas pode apresentar localmente elevada percentagem de areia (IPMA, 2021; Portela *et al.*, 2021, 2022).

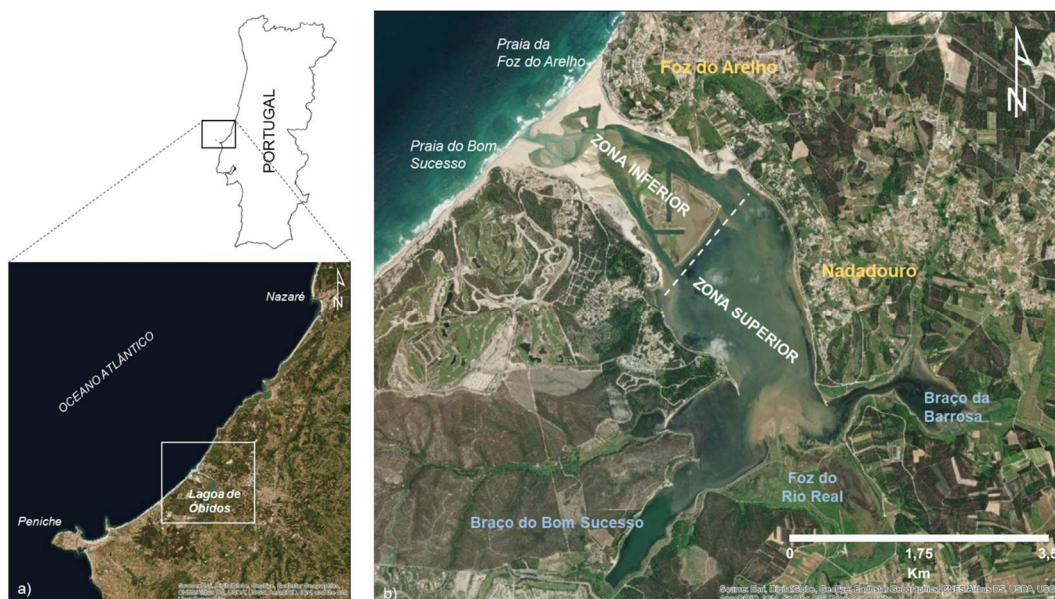


Figura 2.1 – Localização da Lagoa de Óbidos na costa ocidental portuguesa, no trecho costeiro Nazaré- Peniche (créditos: World Imagery - Esri)

2.2 Projeto de execução e empreitada

O projeto de execução das Dragagens da Zona Superior da Lagoa de Óbidos contemplou, essencialmente, trabalhos de dragagem para aprofundamento e estabilização de um conjunto de canais (comum, braço da Barrosa, foz do rio Real e braço do Bom Sucesso) e bacias (braço da Barrosa e foz do rio Real), com a deposição dos sedimentos dragados a ser efetuada na faixa litoral, a sul da embocadura (PROMAN, 2018). Teve como objetivos contrariar o assoreamento progressivo da lagoa, reduzir o risco de isolamento dos braços da Barrosa e do Bom Sucesso e contribuir para a valorização ambiental do sistema. Baseou-se numa proposta de intervenção estudada pelo LNEC no âmbito do Plano de Gestão Ambiental da Lagoa de Óbidos (Portela, 2004a, 2004b), mas adotando uma nova solução para o problema da deposição dos dragados.

O volume de dragagem inicialmente previsto somava 820 000 m³, cobrindo uma área de 530 720 m² (APA, 2021). Foi revisto pelo empreiteiro em 1 056 605 m³ (Orhan e Fraillon, 2022). Porém, o volume efetivo de dragagem aparenta ter sido superior (Portela *et al.*, 2022).

O estaleiro foi montado de maio a junho de 2021 (Figura 2.2). A empreitada de dragagem decorreu de setembro de 2021 a março de 2022.

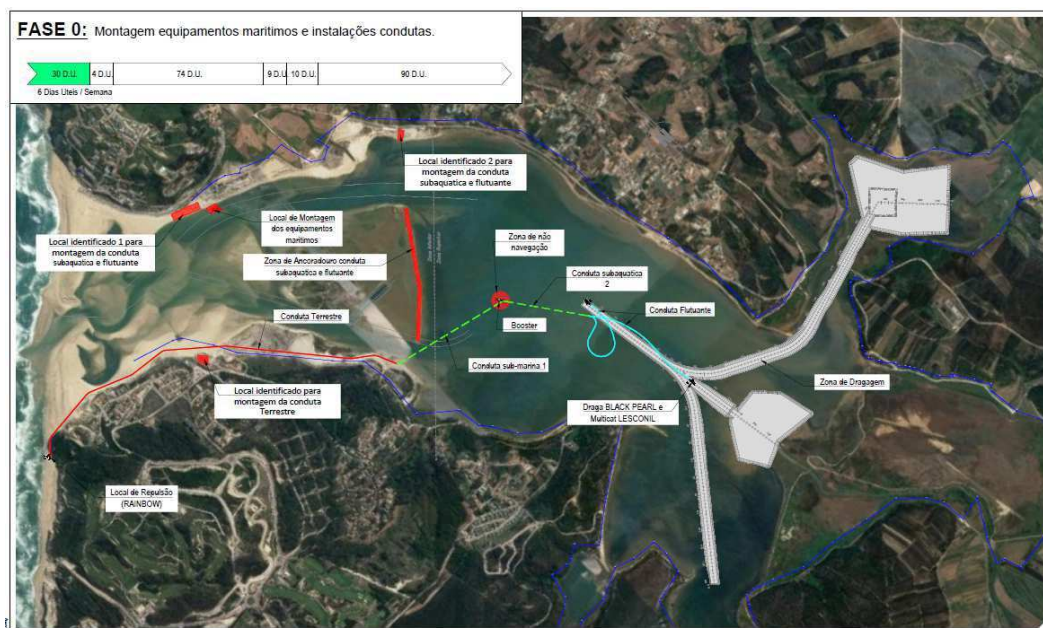


Figura 2.2 – Planeamento da empreitada: fase 0 (fonte: Agência Portuguesa do Ambiente)

3 | Descrição dos dados e metodologia de análise

3.1 Deteção remota

A avaliação da evolução morfológica da zona inferior da lagoa apresentada neste relatório baseia-se na análise de imagens de satélite Sentinel-2 disponíveis no *Sentinel Hub EO Browser*, datadas de abril de 2022 a outubro de 2023. Após a análise prévia das imagens disponíveis naquele período, escolheram-se 37 imagens datadas de 04/04/2022 a 09/10/2023 que foram processadas no serviço WORSICA (<https://worsica.incd.pt/>) para cálculo de índices de água NDWI (*Normalized Difference Water Index*; McFeeters, 1996) e AWEI (*Automated Water Extraction Index*; Mustafa *et al.*, 2017), para determinação da linha de interface água-terra. Uma vez que não se dispõe de níveis no interior da lagoa para a maior parte do período referido, não foi possível associar níveis às máscaras de água de cada imagem e comparar a área da zona emersa de diferentes datas, como realizado no relatório anterior.

No ArcGIS foram extraídos os polígonos correspondentes à zona submersa (máscara de água), e foi determinada a posição do canal de embocadura no cordão litoral segundo a metodologia descrita em Portela *et al.* (2021).

Foram ainda usadas imagens NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) retiradas do *Sentinel Hub EO Browser* (<https://custom-scripts.sentinel-hub.com/sentinel-2/ndvi/>) na avaliação qualitativa do crescimento de zonas de vegetação.

3.2 Topo-hidrografia

Para a análise da evolução dos canais e bacias dragados na zona superior da lagoa, foi executado um levantamento hidrográfico em 6-7 de novembro de 2023, cerca de 20 meses após a conclusão da dragagem. Este levantamento, contratado pelo LNEC, foi realizado pela empresa AtlanticLand com um sistema de feixe simples e espaçamento entre fiadas de 20 m (sistema de referência PT-TM06/ETRS89, referido altimetricamente ao ZH, por observação do ponto DMC MN 21/79; a cota do ponto foi obtida por nivelamento geométrico, efetuado pela Brigada Hidrográfica do Instituto Hidrográfico, em novembro de 2004, a partir das Caldas da Rainha, marca NP009). Após a sua receção, o LNEC comparou-o com o levantamento realizado pelo empreiteiro Vinci em 8 de março de 2022, por forma a avaliar a evolução das zonas intervencionadas após a conclusão da dragagem. Foram criados modelos digitais de terreno para análise da topo-hidrografia, cálculo de volumes e determinação de áreas de erosão e de sedimentação entre levantamentos. Os resultados obtidos foram utilizados para estimar eventuais volumes de dragagens de manutenção em fase de pós-obra.

Na envolvente da zona intervencionada, mantém-se como referência o levantamento topo-hidrográfico geral da lagoa realizado pelo Instituto Hidrográfico em 2004.

3.3 Hidrodinâmica

3.3.1 Agitação marítima

A agitação marítima na zona da Lagoa de Óbidos foi determinada nas boias ondógrafo mais próximas, MONICAN01 (oceânica) e MONICAN02 (costeira). Estes dados são medidos pelo Instituto Hidrográfico e disponibilizados com um intervalo de 1 hora, através do sítio emodnet (<http://www.emodnet.eu/>). Ocasionalmente há falhas significativas nos dados. Em particular, não há dados disponíveis em nenhuma das boias no período em que a embocadura da Lagoa de Óbidos esteve fechada (fevereiro e março de 2022).

Para colmatar estas falhas, recorreu-se a simulações de hindcast efetuadas pelo European Center for Medium Range Weather Forecast (ECMWF) para o ponto onde se localiza a boia MONICAN01. Os dados sugerem que as simulações subestimam significativamente a altura de onda significativa durante as maiores tempestades (Figura 3.1). Nestas condições, os resultados das simulações não foram considerados suficientemente fiáveis para analisar a ocorrência de tempestades.

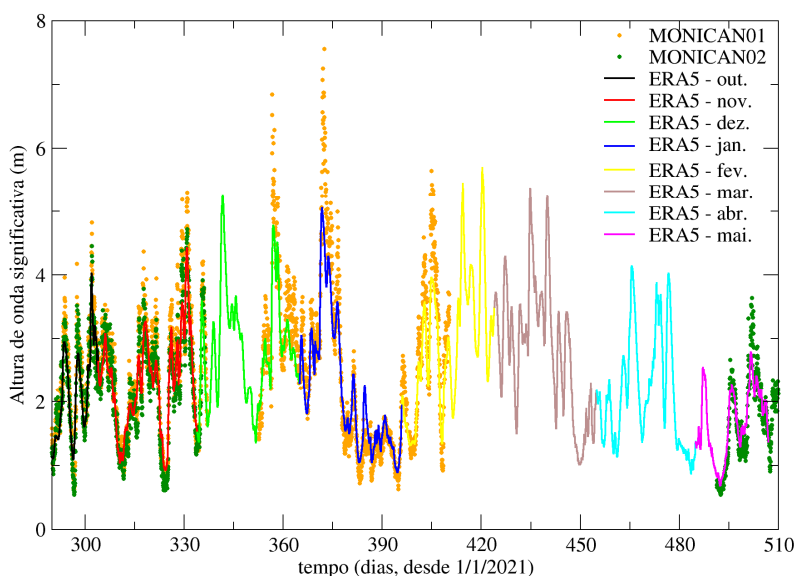


Figura 3.1 – Agitação marítima em frente à Lagoa de Óbidos durante o período em análise (outubro de 2021 e maio de 2022). Os pontos referem-se às medições nas boias MONICAN01 e MONICAN02 do Instituto Hidrográfico. As linhas correspondem a simulações de *hindcast* do ECMWF na boia MONICAN01

3.3.2 Níveis no mar

Para os níveis do mar na zona da Lagoa de Óbidos utilizam-se resultados do modelo regional de maré do LNEC (Fortunato *et al.*, 2016) em frente a esta laguna. Este modelo cobre uma parte significativa do Atlântico NE (Figura 3.2).

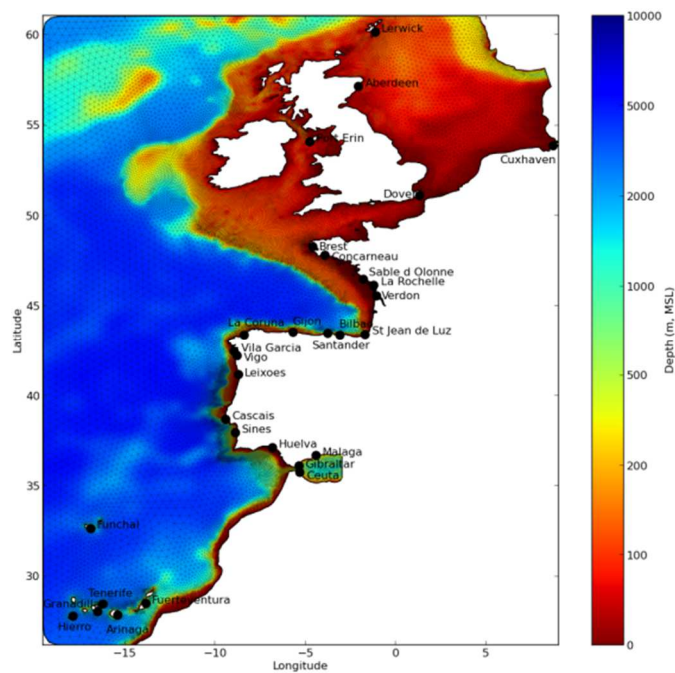


Figura 3.2 – Modelo regional de maré do LNEC: malha e domínio de cálculo do modelo

3.3.3 Níveis na Lagoa de Óbidos

O Instituto Hidrográfico instalou um marégrafo no Cais da Foz do Arelho para medição dos níveis na Lagoa de Óbidos (Figura 3.3). Este marégrafo foi instalado a 23 de outubro de 2021 e retirado em 23 de maio de 2022 devido ao desmantelamento deste cais. Os níveis foram medidos sem falhas e apresentam excelente qualidade (Figura 3.4).

Os dados foram tratados da seguinte forma:

- *Amplitude da maré.* Foi utilizado um filtro de Demerliac para isolar o sinal de maré, e posteriormente determinar a amplitude no interior da lagoa.
- *Quociente entre a amplitude de maré na Lagoa de Óbidos e no mar.* A dissipação do sinal de maré no interior da laguna é determinada diretamente pelo estado de assoreamento da embocadura. Assim, foi determinado o quociente entre as amplitudes de maré na laguna e no mar, como medida do estado da embocadura.
- *Assimetria da maré.* A assimetria da maré no interior da laguna é também fortemente influenciada pelo assoreamento dos canais da embocadura. Por um lado, o assoreamento dos canais dificulta a saída de água na vazante, conduzindo a vazantes mais longas e enchentes mais curtas (dominância de enchente). Por outro lado, a dominância de enchente promove a entrada de sedimentos para o interior da laguna, contribuindo para o assoreamento. Foi por isso determinada a assimetria de maré através dos dados medidos no Cais da Foz do Arelho, como indicador do assoreamento presente e de tendências futuras.



Figura 3.3 – Marégrafo instalado no Cais da Foz do Arelho (janeiro de 2022)

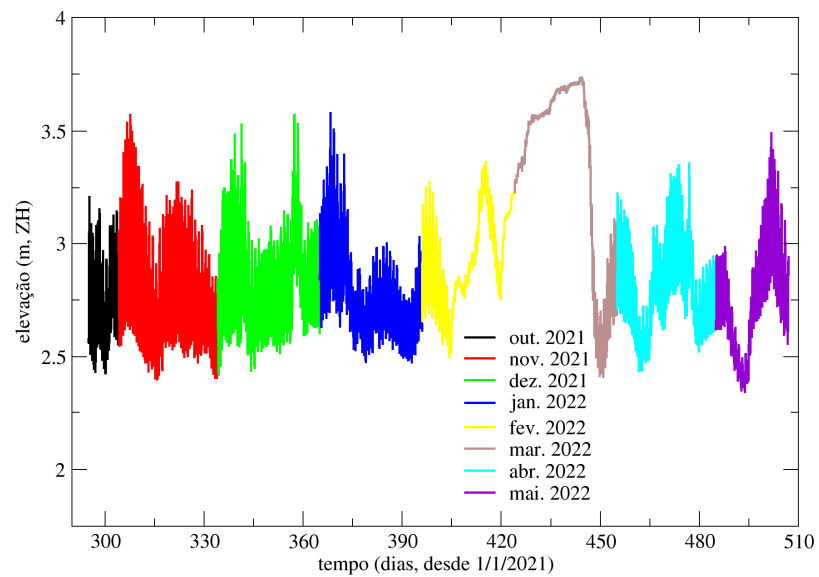


Figura 3.4 – Níveis medidos no Cais da Foz do Arelho entre 23 de outubro de 2021 e 23 de maio de 2022

4 | Caracterização morfológica

4.1 Setor inferior da lagoa

Neste relatório analisa-se a evolução do setor inferior da lagoa entre abril de 2022, após a abertura artificial do canal de embocadura na sequência do seu fecho em março de 2022, e outubro de 2023. Neste período, o setor inferior da lagoa é caracterizado por um cordão litoral muito robusto cortado pelo canal de embocadura no seu terço central (Figura 4.1).

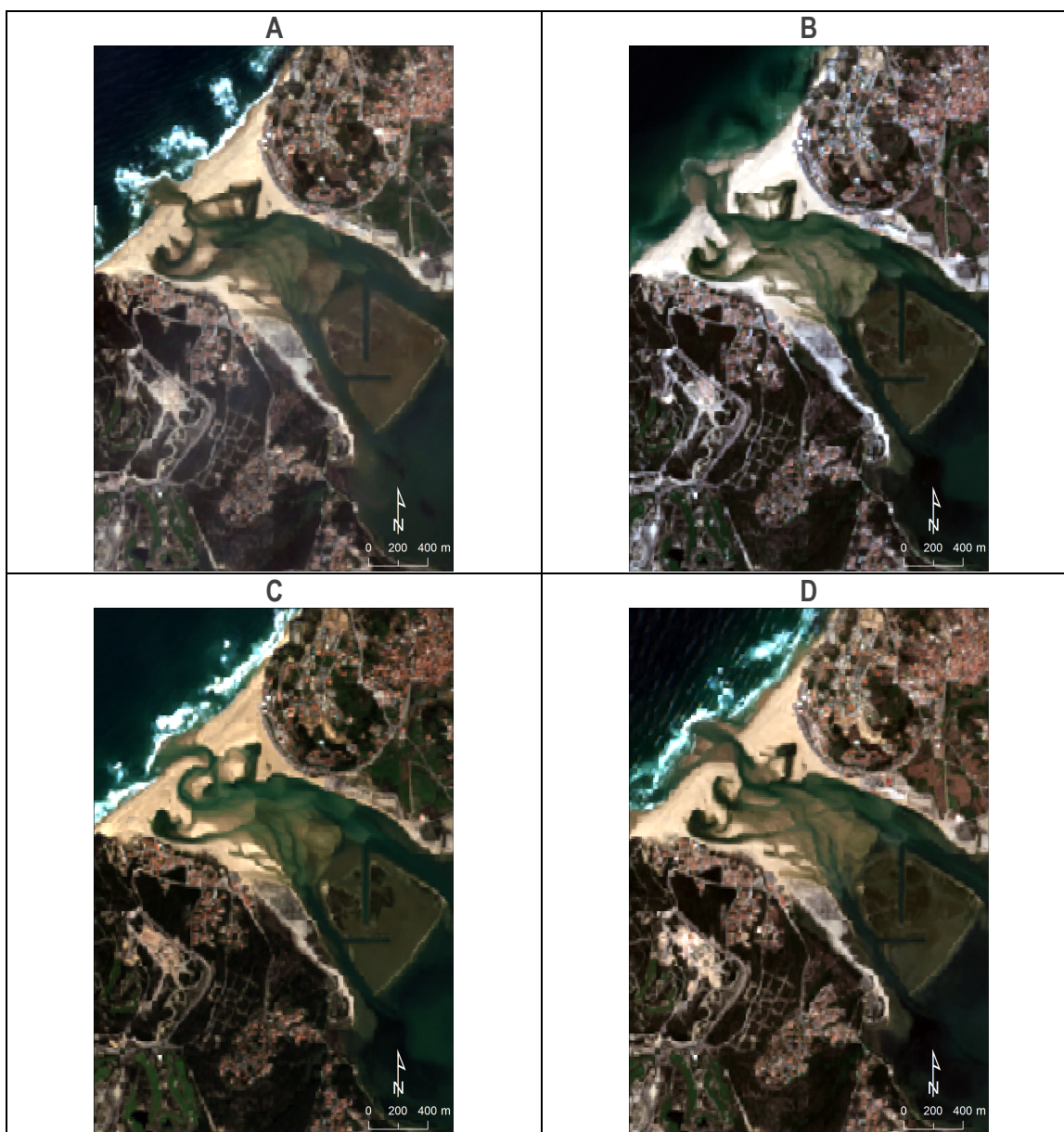


Figura 4.1 – Setor inferior da Lagoa de Óbidos. Aspectos da evolução do canal de embocadura: A – 04/04/2022; B – 01/09/2022; C – 26/02/2023 e D – 08/07/2023. Imagens Sentinel-2

Verificaram-se situações de acentuada meandrização do canal de embocadura resultado do crescimento da restinga litoral, quer para sul (Figura 4.1 B) quer para norte (Figura 4.1 C), mas sem provocarem o fecho total da embocadura.

A tendência de assoreamento deste setor da lagoa mantém-se no período analisado, manifestada pelo desenvolvimento dos deltas de vazante e enchente e a fraca expressão dos canais de maré. Destaca-se o acentuar da coloração verde escura nas imagens NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) no banco do Arinho desde abril de 2023, o que poderá indicar um aparente aumento da extensão da mancha de vegetação (Figura 4.2). No entanto, deve-se notar que a vegetação terrestre também parece exibir uma coloração verde mais acentuada, sem prejuízo de se ter vindo a verificar um efetivo crescimento da vegetação no Arinho.

Na Figura 4.3 mostra-se a variação da posição do canal de embocadura, relativamente ao eixo central da lagoa, entre 24/03/2016 e 09/10/2023. Como já referido, no período analisado neste relatório (abril de 2022 a outubro de 2023) o canal de embocadura manteve uma posição relativamente estável no terço central do cordão litoral, sem situações de fecho da embocadura.

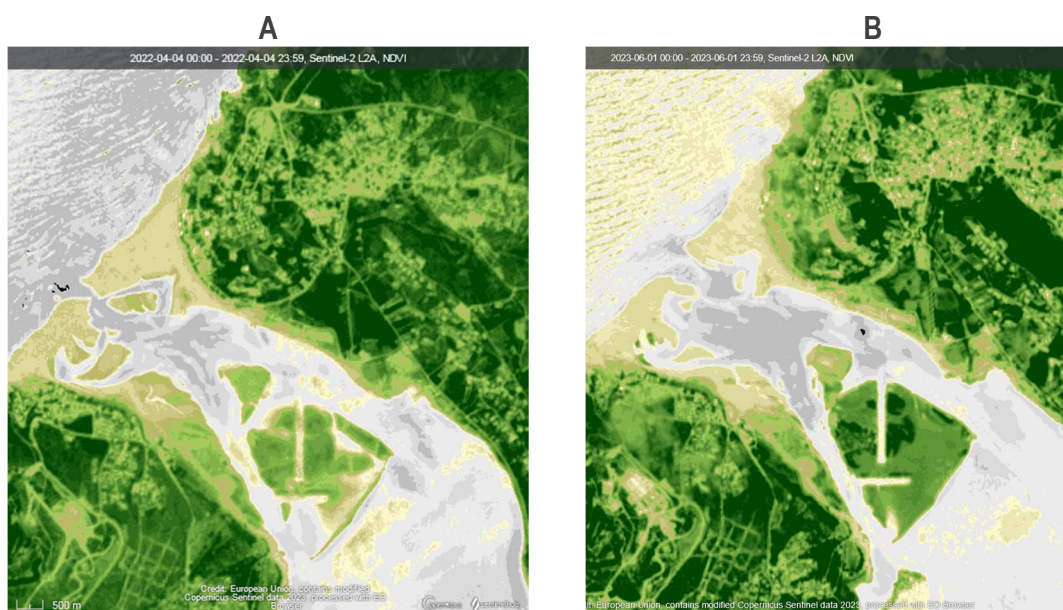


Figura 4.2 – Imagens NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) de 04/04/2022 (A) e 01/06/2023 (B) (retiradas do *Sentinel Hub EO Browser*)

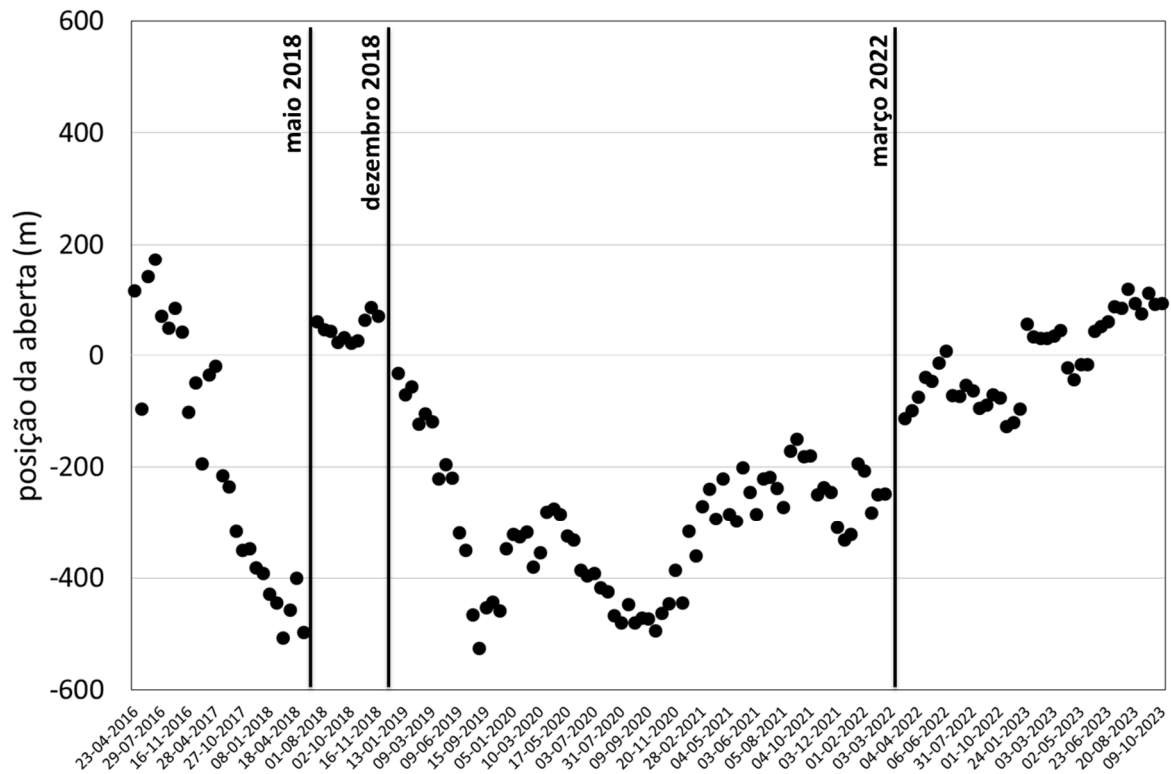


Figura 4.3 – Evolução da posição do canal de embocadura no cordão litoral entre 23/03/2016 e 09/10/2023, deduzida de imagens de satélite Sentinel-2. Valores positivos correspondem à posição do canal a norte do eixo longitudinal da lagoa e negativos a sul. As barras verticais correspondem a situações em que o canal esteve fechado

4.2 Setor superior da lagoa

O último levantamento topo-hidrográfico geral da zona superior da lagoa foi realizado pelo Instituto Hidrográfico em setembro de 2004 (Figura 4.4). Este levantamento permite uma apreciação global da situação morfológica anterior às dragagens realizadas. Observava-se a ocupação do corpo lagunar pelo delta do rio Real, com cotas em grande parte acima do nível médio do mar (acima de +2 m ZH). O braço do Bom Sucesso exibia as maiores profundidades (cota mínima de -2,3 m ZH). Pelo contrário, o braço da Barrosa apresentava um elevado preenchimento sedimentar (cota mínima de +1 m ZH, mas em geral acima de +2 m ZH; Portela *et al.*, 2021).

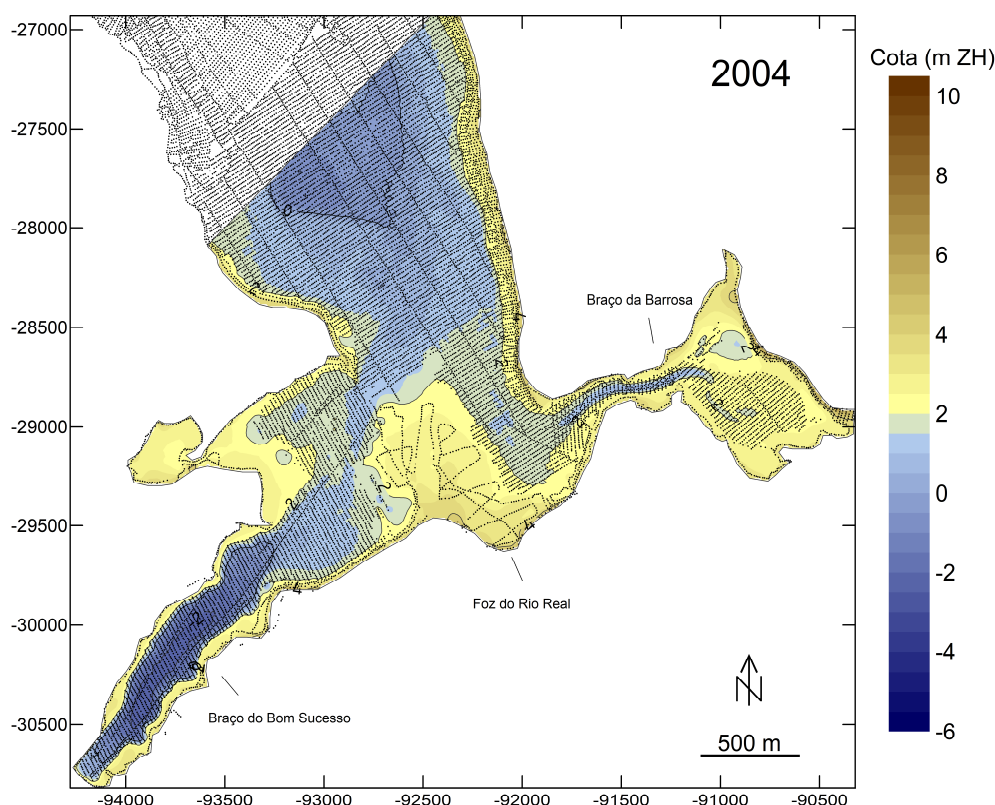


Figura 4.4 – Levantamento topo-hidrográfico da zona superior da lagoa em setembro de 2004

No âmbito da dragagem da zona superior da lagoa, o empreiteiro Vinci realizou um levantamento inicial (ou de pré-dragagem) em junho de 2021 e um levantamento final (ou de pós-dragagem) em março de 2023, limitado à área de intervenção (Figura 4.5). A comparação dos levantamentos de pré e de pós-dragagem sugere que o volume efetivamente dragado tenha sido superior ($1,4 \times 10^6 \text{ m}^3$) ao inicialmente previsto ($1,1 \times 10^6 \text{ m}^3$), sendo a diferença explicável por uma maior profundidade de dragagem nas bacias (cerca de 0,0 m ZH em vez de +0,5 m ZH) (Portela *et al.*, 2022). Com efeito, a totalidade da área dragada apresenta cotas finais próximas de 0,0 m ZH (sendo a cota média da área do levantamento igual a 0,10 m ZH).

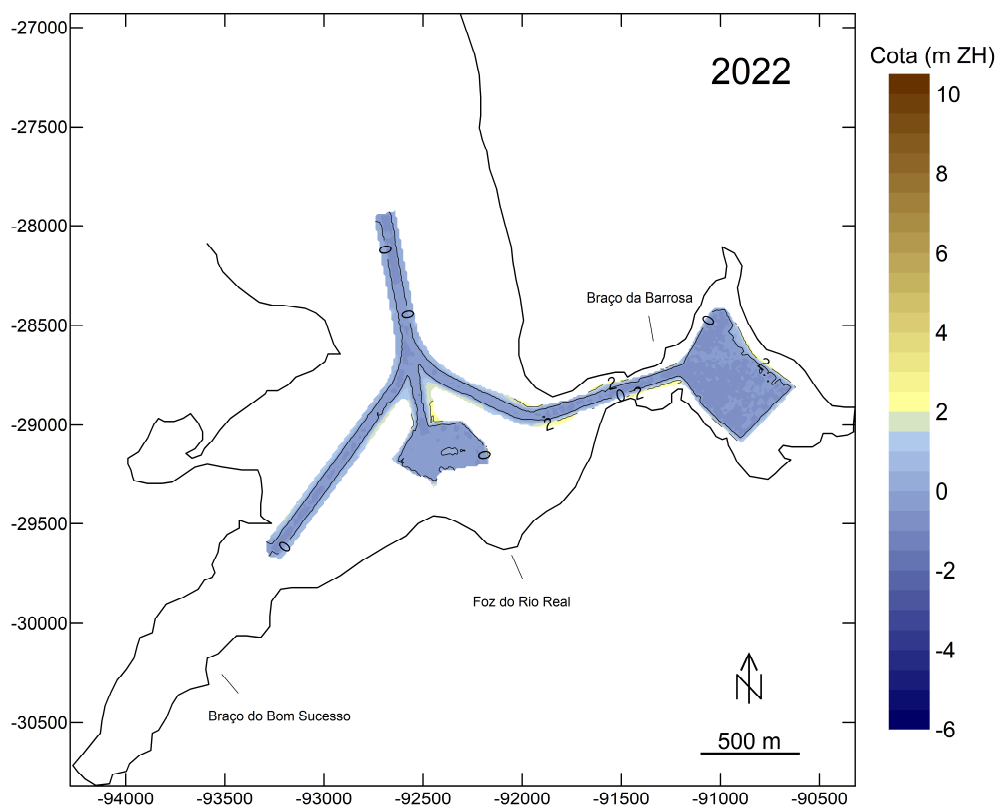


Figura 4.5 – Levantamento hidrográfico da área intervenzionada em março de 2022 (pós-dragagem)

O levantamento de monitorização pós-obra, realizado pela AtlanticLand em novembro de 2023, cerca de 20 meses após a conclusão da dragagem, restringe-se igualmente aos canais e bacias dragados (Figura 4.6). Este levantamento apresenta cotas relativamente próximas das determinadas no levantamento de pós-dragagem de março de 2022, mas superiores (cota média do levantamento igual a 0,48 m ZH, sendo a área comum a 2022 e 2023; correspondente a uma acreção de 0,38 m). Por comparação dos levantamentos de pós-dragagem (março de 2022) e de monitorização pós-obra (novembro de 2023), calculou-se um volume de sedimentação de $285 \times 10^3 \text{ m}^3$, com uma distribuição da sedimentação pouco variável espacialmente, mas tendencialmente mais elevada nas bacias do braço da Barrosa e da foz do rio Real e num trecho da ligação do canal comum ao braço da Barrosa (Figura 4.7). A variação de cota média e o volume de sedimentação referidos, relativos a um período de 20 meses, equivalem, em valores anuais, a uma taxa de sedimentação de $0,23 \text{ m ano}^{-1}$ e a um volume de sedimentação de $171 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$. Se esta taxa de sedimentação se mantiver constante, o volume dragado será equivalente a cerca de 8 anos de acumulação sedimentar na zona intervenzionada (de sedimento já presente na zona superior da lagoa ou proveniente da bacia hidrográfica), ou seja, uma eventual manutenção dos canais e bacias dragados requererá intervenções pouco frequentes. Deve notar-se que, tendo os dois levantamentos sido realizados por entidades diferentes, não se podem excluir pequenas diferenças no nivelamento vertical (sendo frequente admitir-se uma incerteza máxima de 0,3 m).

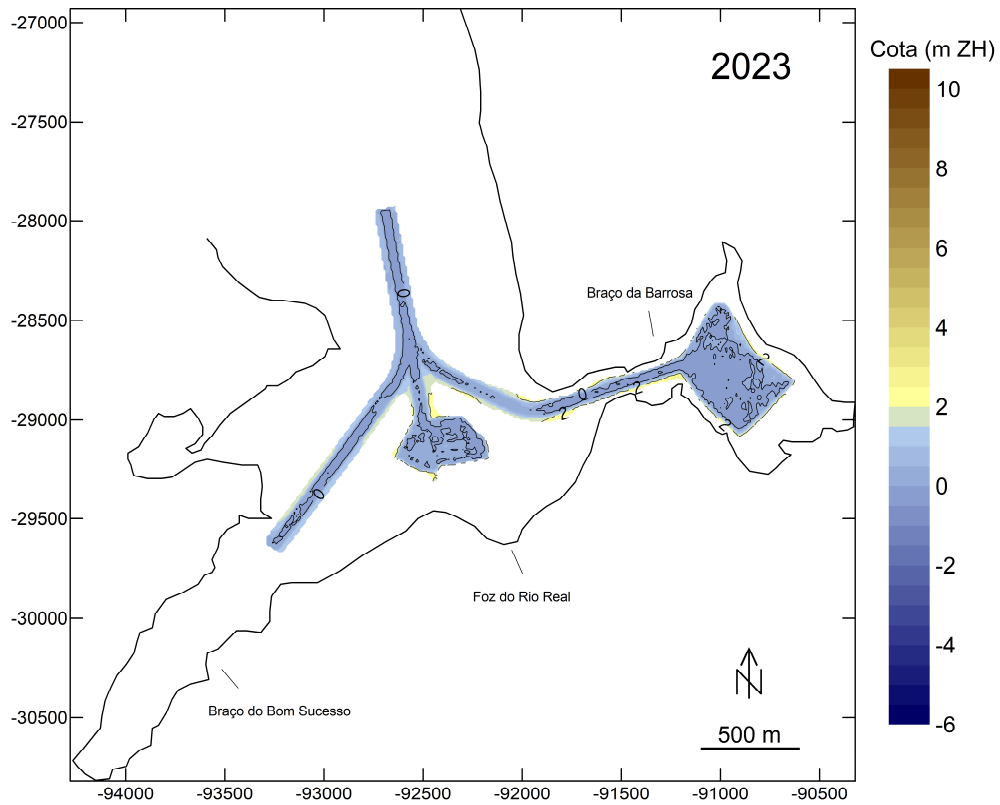


Figura 4.6 – Levantamento hidrográfico de monitorização pós-obra realizado em novembro de 2023

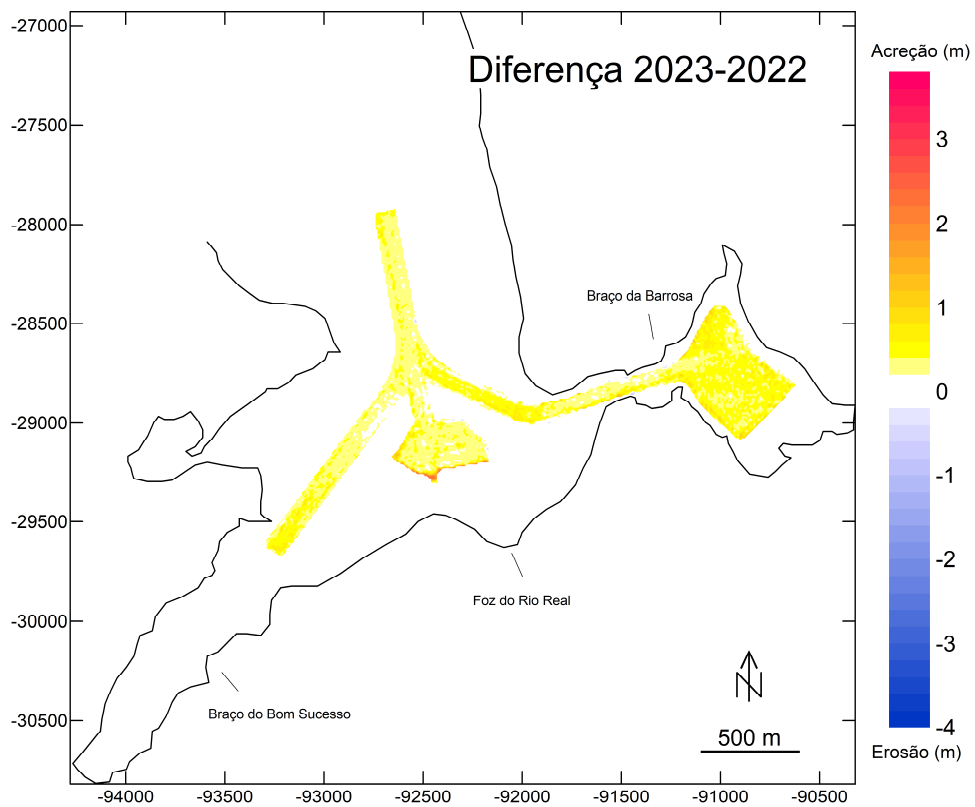


Figura 4.7 – Comparação dos levantamentos de março de 2022 e novembro de 2023

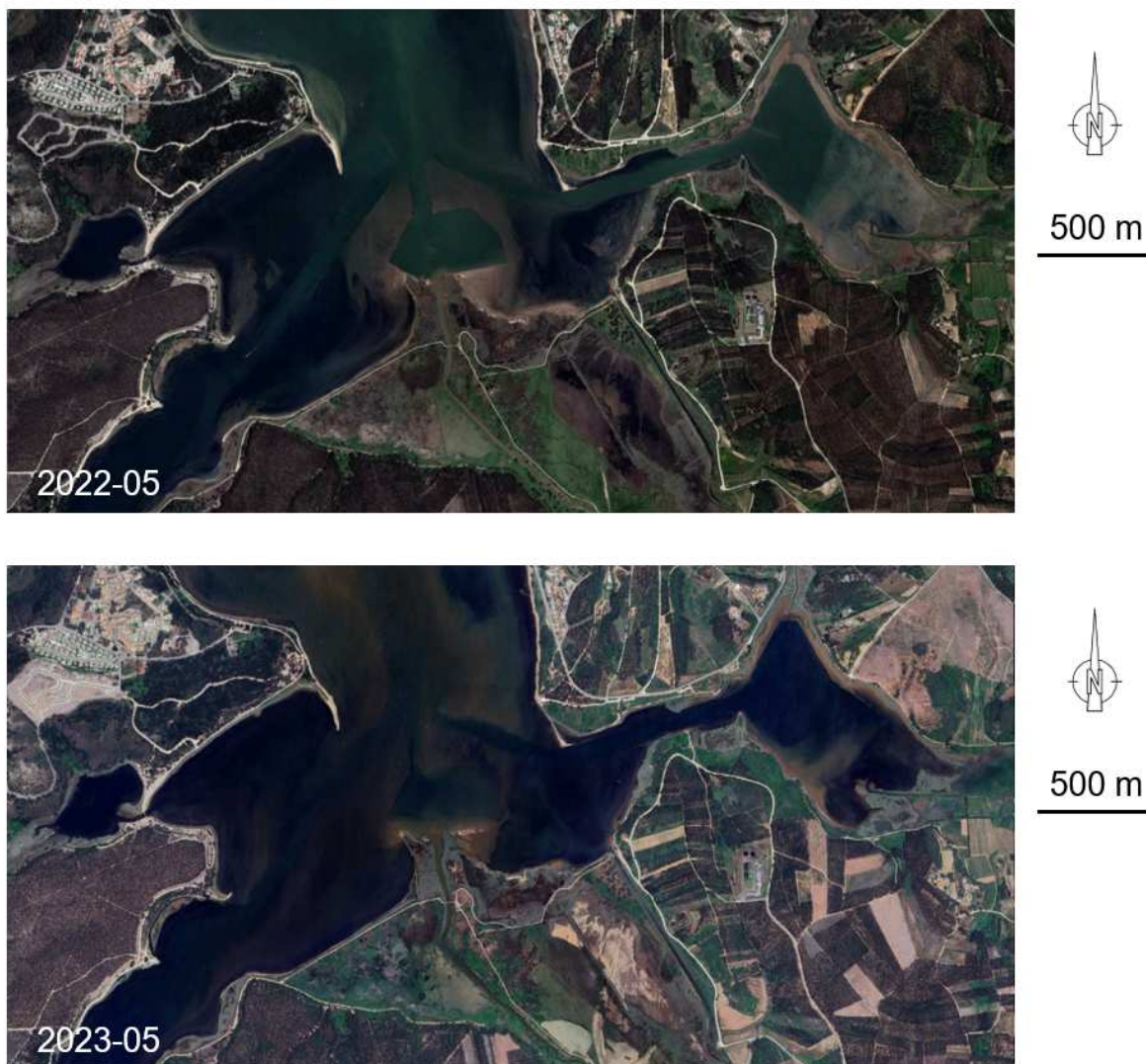


Figura 4.8 – Evolução da zona superior da lagoa em imagens de satélite de elevada resolução de maio de 2022 (pós-dragagem) e maio de 2023 (após 12 meses) (fonte: GoogleEarth)

Dado o elevado grau de preenchimento sedimentar da zona superior da lagoa, alguns aspetos da intervenção, como a dragagem das bacias da foz do rio Real e do braço da Barrosa e o próprio alargamento do canal entre o braço da Barrosa e o restante corpo da lagoa, podem ser apreciados qualitativamente em imagens de satélite (Figura 4.8). No entanto, as imagens de elevada resolução de 2023 disponíveis na aplicação Google Earth não permitem avaliar a posterior evolução, dada a presença de material em suspensão na coluna de água.

As imagens do satélite Sentinel-2 disponíveis em <https://dataspace.copernicus.eu> são mais esclarecedoras, sugerindo que, qualitativamente, a área intervencionada não tenha sofrido evolução morfológica importante num período de 18 meses após a dragagem (Figura 4.9).

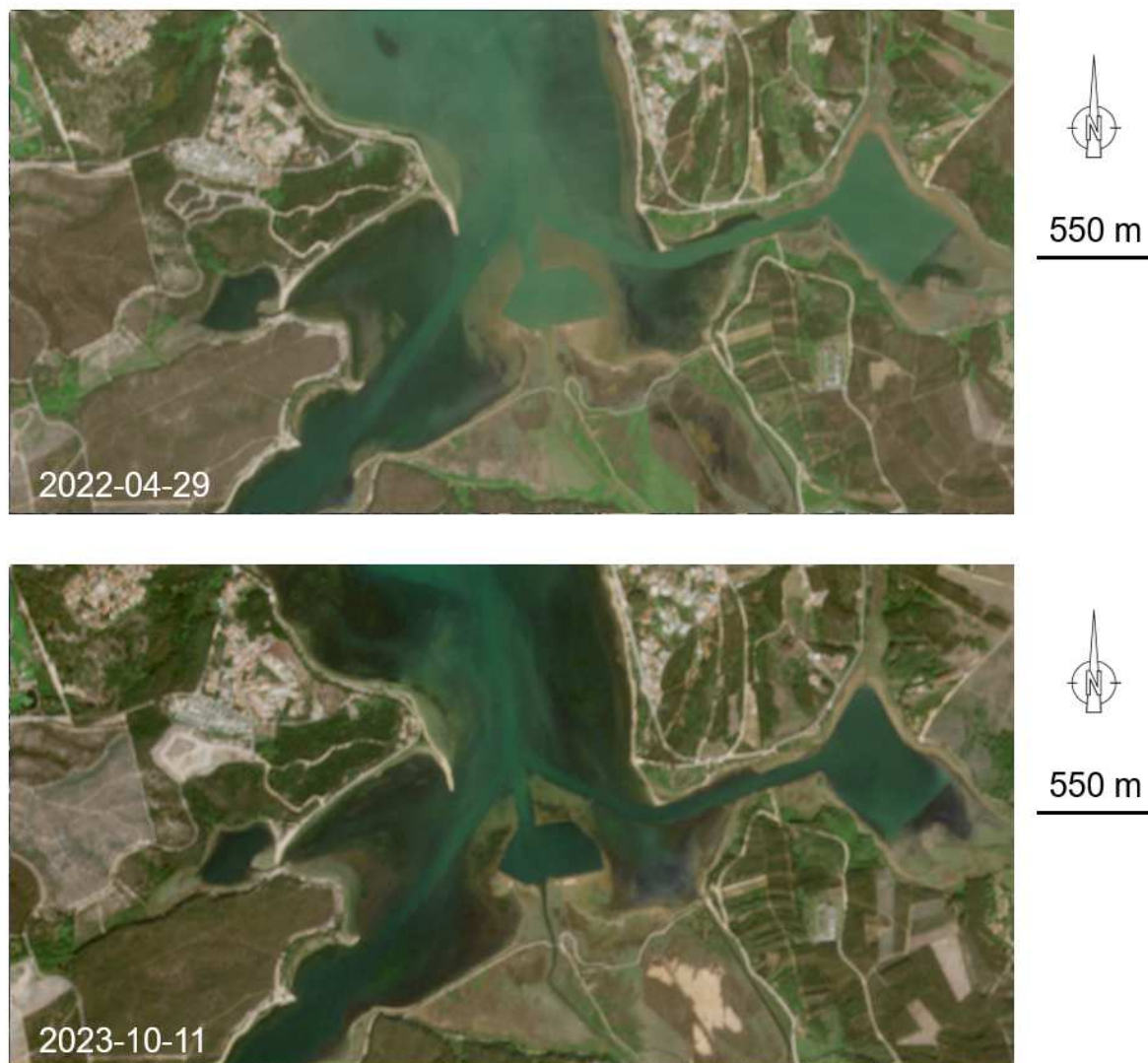


Figura 4.9 – Evolução da zona superior da lagoa em imagens de satélite Sentinel-2 de abril de 2022 (pós-dragagem) e outubro de 2023 (após 18 meses) (fonte: dataspace.copernicus.eu)

Estes resultados sugerem que os efeitos da intervenção de dragagem na redução da acumulação sedimentar na zona superior da lagoa sejam relativamente duradouros, pese embora a tendência a longo prazo de diminuição da área e profundidade do sistema lagunar.

5 | Caracterização da hidrodinâmica

A análise da hidrodinâmica da Lagoa de Óbidos focou-se na dissipação da energia de maré na embocadura, medida pelo quociente entre as amplitudes de maré na Foz do Arelho e no mar, e na assimetria de maré (diferença entre as durações da vazante e da enchente) na Foz do Arelho.

O primeiro indicador mede a dissipação da energia de maré na embocadura. Um valor unitário deste indicador corresponderia a uma abertura total ao mar, enquanto um valor nulo indica o fecho da embocadura. Na lagoa de Óbidos, este indicador tem variado geralmente entre 0,2 no início do verão marítimo e 0,4 no início do inverno marítimo (Portela *et al.*, 2021). É um indicador mais robusto do que a amplitude de maré na laguna dado que depende pouco dos ciclos quinzenais da maré (Figura 5.1). Esta menor sensibilidade permite evidenciar mais facilmente o estado diário da embocadura.

O quociente entre a amplitude de maré na Foz do Arelho e no mar sugere um assoreamento progressivo da embocadura entre outubro de 2021 e janeiro de 2022 (Figura 5.1a). Em fevereiro desse ano, uma redução mais abrupta culminou no fecho da embocadura. Com a abertura da embocadura em meados de março, o quociente estabilizou em valores abaixo do normal (0,1-0,2), sugerindo que a aberta estaria ainda pouco robusta em maio de 2022. No entanto, a gravidade desta falta de robustez é limitada por ocorrer no início do verão marítimo. É expectável que ao longo do verão marítimo os canais de embocadura se venham a aprofundar naturalmente. A permanência de uma ligação aberta com o mar até ao novembro de 2023 confirmou esta expectativa.

O segundo indicador é dado pela diferença entre a duração da vazante e da enchente. Um valor positivo indica que a enchente é mais curta do que a vazante, o que favorece velocidades de enchente superiores às de vazante e a penetração de sedimentos provenientes da praia para o interior da embocadura. Diz-se então que a laguna é dominada pela enchente. Pelo contrário, uma assimetria negativa favorece a expulsão dos sedimentos para o mar, pelo que se diz que a laguna é dominada pela vazante.

A Lagoa de Óbidos manteve uma forte dominância de enchente entre outubro de 2021 e janeiro de 2022, com vazantes uma a três horas mais longas do que as enchentes (Figura 5.2). Durante este período, esta assimetria tendeu a crescer, possivelmente por o assoreamento da embocadura dificultar o escoamento do prisma de vazante. O sinal de maré anulou-se com o fecho da embocadura no final de fevereiro. Em março, com a abertura artificial da embocadura em março, observa-se de novo uma forte dominância de enchente em abril e maio de 2022. Assim, a abertura da embocadura permitiu restabelecer as trocas de maré, mas não reverteu o assoreamento dos canais da embocadura. Também este comportamento sugere que a embocadura permanecia relativamente assoreada em maio.

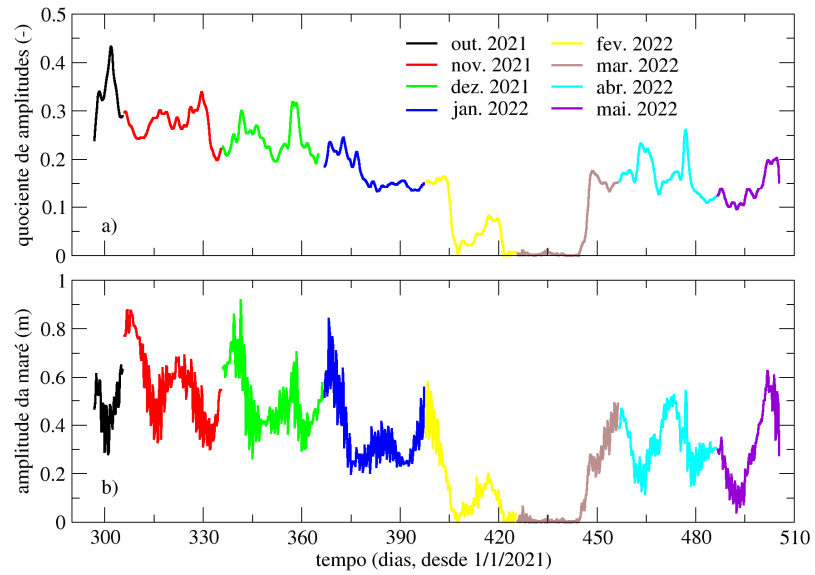


Figura 5.1 – Propagação da maré para o interior da Lagoa de Óbidos entre outubro de 2021 e maio de 2022: a) quociente entre a amplitude nas estações do Cais do Arelho e no mar; b) amplitude da maré

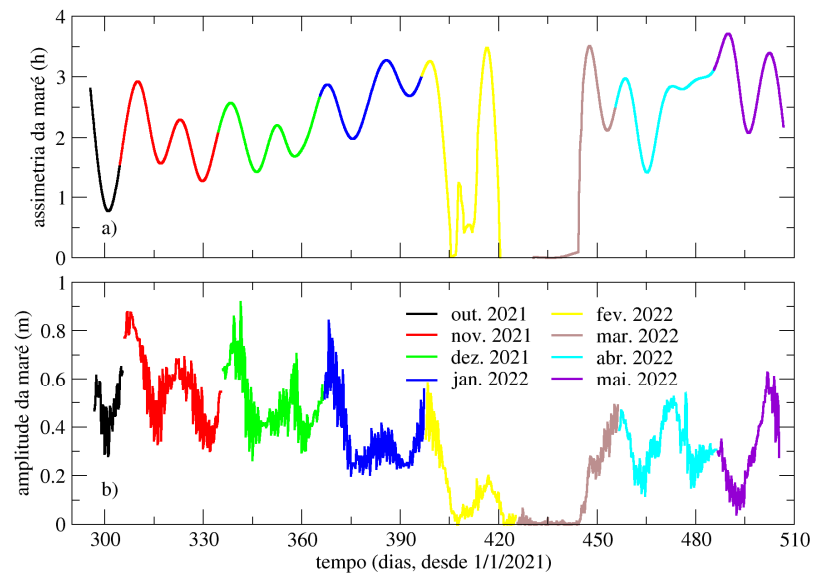


Figura 5.2 – Propagação da maré para o interior da Lagoa de Óbidos entre outubro de 2021 e maio de 2022: a) assimetria da maré (diferença entre as durações da enchente e da vazante); b) amplitude da maré

6 | Conclusões

Apresentam-se neste relatório os resultados do *Programa de Monitorização das Dragagens da Zona Superior da Lagoa de Óbidos* relativos à evolução das condições hidrodinâmicas e da morfologia da lagoa na fase de pós-obra, isto é, num período superior a 18 meses iniciado com a conclusão das dragagens (em março de 2022).

A morfologia da zona inferior da lagoa, analisada com base em imagens Sentinel-2, não foi influenciada pelas dragagens a montante. Verificou-se uma situação de quase fecho do canal da embocadura em finais de fevereiro de 2022 (ainda em fase de obra), tendo-se procedido à sua reabertura em março, cerca de 120 m a norte, no terço central do cordão litoral. Entre abril de 2022 e outubro de 2023, o canal da embocadura manteve uma posição relativamente estável no terço central do cordão litoral, sem situações de fecho da embocadura.

A comparação dos levantamentos hidrográficos da zona superior da lagoa de pós-dragagem (março de 2022) e de monitorização pós-obra (novembro de 2023) indicam que a zona intervencionada de canais (braço da Barrosa, foz do rio Real e braço do Bom Sucesso) e bacias (braço da Barrosa e foz do rio Real) apresentou taxas e volumes de sedimentação moderados (em valores anuais, uma taxa de sedimentação de $0,23 \text{ m ano}^{-1}$ e um volume de sedimentação de $171 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$). Assim, estima-se que os efeitos da intervenção de dragagem na redução da acumulação sedimentar na zona superior da lagoa sejam relativamente duradouros.

Globalmente, do ponto de vista do acompanhamento da evolução das condições hidrodinâmicas e da morfologia da lagoa, as dragagens na zona superior da lagoa decorreram com normalidade e sem incidentes geradores de impactos negativos.

Lisboa, LNEC, novembro de 2023

VISTO

A Diretora do Departamento de Hidráulica e
Ambiente



Helena Alegre

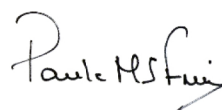
AUTORIA



Luís Portela

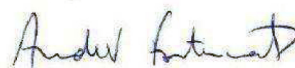
Investigador Auxiliar

Chefe do Núcleo de Estuários e Zonas Costeiras



Paula Freire

Investigadora Auxiliar



André Fortunato

Investigador-Coordenador



Alberto Azevedo

Investigador Auxiliar

Referências bibliográficas

- APA, 2021 – **Dragagens da zona superior da lagoa de Óbidos**. Agência Portuguesa do Ambiente, <https://apambiente.pt/agua/dragagens-da-zona-superior-da-lagoa-de-obidos>
- FORTUNATO, A.B.; LI, K.; BERTIN, X.; RODRIGUES, M.; MIGUEZ, B.M., 2016 – **Determination of extreme sea levels along the Iberian Atlantic coast**. Ocean Engineering 111: 471-482.
- FREIRE, P.; SILVA, M.C.; TROVISCO, L., 2004 – **Revisão do Plano de Gestão Ambiental da Lagoa de Óbidos. Relatório 1: Ações Preparatórias. Volume 1: Caracterização da Situação Atual**. LNEC - Proc. 0604/1/15491. Relatório 107/04 – DHA/NEC.
- IPMA, 2021 – **Caracterização físico-química dos sedimentos a dragar na zona superior da lagoa de Óbidos**. Resumo Não Técnico, 5 pp.
- McFEETERS, S.K., 1996 – **The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features**. International Journal of Remote Sensing 17 (7): 1425-1432.
- MUSTAFA, M.T.; HASSOON, K.I.; HASSAN, M.; ABD, M.H., 2017 – **Using water indices (NDWI, MNDWI, NDMI, WRI and AWEI) to detect physical and chemical parameters by apply remote sensing and GIS techniques**. International Journal of Research - Granthaalayah 5 (10): 117-128.
- ORHAN, M.; FRAILLON, M., 2022 – **Apresentação da empreitada de dragagem da Lagoa de Óbidos**. 10as Jornadas de Engenharia Costeira e Portuária, Sines, 7-8 de abril de 2022, 6 pp.
- PORTELA, L.I., 1999 – **Dragagens nas Cabeceiras da Lagoa de Óbidos. Volume 1: Definição de ações preparatórias para a sua execução**. LNEC - Proc. 604/1/13299. Relatório 185/99 – NET.
- PORTELA, L.I., 2004a – **Revisão do Plano de Gestão Ambiental da Lagoa de Óbidos. Relatório 2: Definição das intervenções. Volume 2: Intervenções na zona superior da lagoa**. LNEC - Proc. 0604/1/15491. Relatório 214/04 – NEC.
- PORTELA, L.I., 2004b – **Revisão do Plano de Gestão Ambiental da Lagoa de Óbidos. Relatório 3: Plano de intervenção. Volume 1: Plano de dragagens – zona superior da lagoa**. LNEC - Proc. 0604/1/15491. Relatório 215/04 – NEC.
- PORTELA, L.I.; FREIRE, P.; FORTUNATO, A.; AZEVEDO, A.; RILO, A., 2021 – **Programa de Monitorização da Hidrodinâmica das Dragagens da Zona Superior da Lagoa de Óbidos. Relatório 1 – Fase de pré-obra**. LNEC - Proc. 0604/1201/22751. Relatório 236/2021 – DHA/NEC.
- PORTELA, L.I.; FREIRE, P.; FORTUNATO, A.; AZEVEDO, A.; RILO, A., 2022 – **Programa de Monitorização da Hidrodinâmica das Dragagens da Zona Superior da Lagoa de Óbidos. Relatório 2 – Fase de obra**. LNEC - Proc. 0604/1201/22751. Relatório 247/2022 – DHA/NEC.
- PROMAN, 2018 – **Projeto de Execução das Dragagens da Zona Superior da Lagoa de Óbidos e Tratamento e Deposição dos Materiais Dragados**. Proman – Centro de Estudos e Projetos, 31-10-2018.



www.lnec.pt

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA • PORTUGAL
tel. (+351) 21 844 30 00
lnec@lnec.pt www.lnec.pt