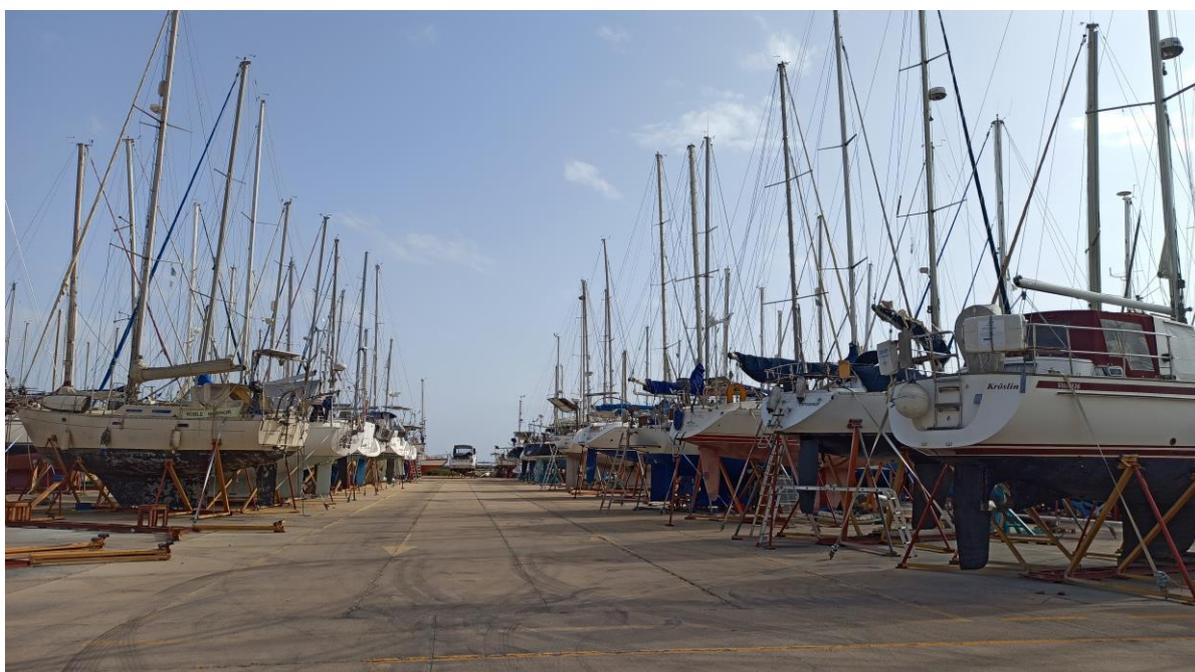


**ESTUDO DE IMPACTE AMBIENTAL DA AMPLIAÇÃO
E REQUALIFICAÇÃO DE ESTALEIRO NAVAL,
INCLUINDO PARQUEAMENTO A NADO
MODERNIZAÇÃO DAS INSTALAÇÕES DA QUINTA
DO PROGRESSO**



ANEXO III.9 – HIDRODINÂMICA

JANEIRO DE 2024

ESTE DOCUMENTO FOI REDIGIDO DE ACORDO COM O NOVO ACORDO ORTOGRAFICO

NOTA DE APRESENTAÇÃO

O Estudo de Impacte Ambiental da Ampliação e Requalificação de Estaleiro Naval, incluindo Parqueamento a Nado e Modernização das Instalações da Quinta do Progresso, Faro é constituído pelos seguintes volumes:

Volume I – Resumo Não Técnico

Volume II – Relatório Síntese

Volume III – Anexos Técnicos

- Anexo III.1 – Alterações Climáticas
- Anexo III.2 – Ordenamento do Território
- Anexo III.3 – Riscos Naturais e Tecnológicos
- Anexo III.4 – Paisagem
- Anexo III.5 – Qualidade do Ar e Emissões Atmosféricas
- Anexo III.6 – Resíduos
- Anexo III.7 – Geologia, Geomorfologia e Recursos Minerais
- Anexo III.8 – Recursos Hídricos Subterrâneos e Recursos Hídricos Superficiais
- **Anexo III.9 – Hidrodinâmica**
- Anexo III.10 – Ecologia
- Anexo III.11 – Socioeconomia e Saúde Humana
- Anexo III.12 – Património
- Anexo III.13 – Ambiente Sonoro

FICHA TÉCNICA

Coordenação:

Fausto Hidalgo do Nascimento	Arquiteto Paisagista
------------------------------	----------------------

Equipa Técnica:

Estudo de Impacte Ambiental:

FHN group:	Resumo Não Técnico, Relatório Síntese, Alterações
Eng. ^a do Ambiente Sónia Afonso	Climáticas, Ordenamento do Território, Riscos Naturais e
Arq. ^o Paisagista Nelson Fonseca	Tecnológicos, Paisagem, Qualidade do Ar e Emissões
Arq. ^o Paisagista Filipa Mendes	Atmosféricas e Resíduos e Economia Circular
	Geologia, Geomorfologia e Recursos Minerais, Recursos
Prof. Doutor Duarte N. R. Duarte	Hídricos Subterrâneos e Recursos Hídricos Superficiais e
	Hidrodinâmica
Eng. ^a Paula Gaspar e	
Eng. ^o João Pinto	Ecologia
Dr. Fernando Perna	Socioeconomia e Saúde Humana
ERA, Arqueologia	Património
SCHIU	Ambiente sonoro

INDICE

1	INTRODUÇÃO	9
2	METODOLOGIA	9
3	SITUAÇÃO ATUAL	17
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA HIDRODINÂMICA A NÍVEL LOCAL	17
3.1.1	Fisiografia	17
3.1.2	Hidrodinâmica	19
3.1.3	Propagação da maré	21
3.1.4	Fluxos de energia e dissipação da maré	23
3.1.5	Gradientes temporais e longitudinais da superfície livre e da velocidade	24
3.1.6	Distorção da maré	29
3.1.7	Volumes em circulação e prismas de maré	29
3.1.8	Sobre-elevação da Superfície Livre	30
3.1.9	Tempos de Residência	32
3.2	REGIME SEDIMENTAR	33
3.2.1	Cobertura sedimentar	33
3.2.2	Caracterização do regime sedimentar nível local	34
3.2.3	Taxa média de sedimentação no Esteiro Sobradinho	34
4	EVOLUÇÃO PREVISÍVEL DA SITUAÇÃO ATUAL NA AUSÊNCIA DO PROJETO	36
5	AVALIAÇÃO DE IMPACTES	38
5.1	FASE DE CONSTRUÇÃO	38
5.2	FASE DE EXPLORAÇÃO	38
5.3	FASE DE DESATIVAÇÃO	40

6	IMPACTES CUMULATIVOS	41
7	MEDIDAS DE MINIMIZAÇÃO	42
	7.1 FASE DE CONSTRUÇÃO	42
	7.2 FASE DE EXPLORAÇÃO	42
	7.3 FASE DE DESATIVAÇÃO	43
8	PLANO DE MONITORIZAÇÃO E GESTÃO	43
9	CONCLUSÕES	45
10	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
11	ANEXOS	49

INDICE DE ANEXOS

Anexo I – Planta de Localização

Anexo II – Plano Geral

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição espacial das estações: Nave Pegos (no Esteiro do Sobradinho), Quatro Águas, barra de São Luís, barra Faro-Olhão, na Ria Formosa.	10
Figura 2 - Levantamento batimétrico da zona envolvente ao projeto de ampliação e requalificação do estaleiro de Nave Pegos	19
Figura 3 - Gradientes barotrópicos longitudinais definidos entre as várias estações, para: a) gradiente correspondente às 0 horas na estação Faro-Olhão (fase da preia-mar, t1); b) 3h, ou meio da descida da maré, t4; c) 6h, ou próximo da estofa da baixa-mar, ou t7; d) 9h, ou ponto intermédio da subida da maré, t10; e) 12h, estofa da preia-mar, t13.....	25
Figura 4 - Gradientes longitudinais da velocidade da corrente definidos entre as várias estações, para: a) gradiente correspondente às 0 horas na estação Faro-Olhão (fase da preia-mar, t1); b) 3h, ou meio da descida da maré, t4; c) 6h, ou próximo da estofa da baixa-mar, ou t7; d) 9h, ou ponto intermédio da subida da maré, t10; e) 12h, estofa da preia-mar, t13.....	27

Figura 5 - Diagramas histeréticos da maré das estações: barra Faro-Olhão, barra São Luís, Centro Náutico, Bar da Gina, Quatro Águas e Nave Pegos 29

Figura 6 - Variação espacial dos tempos de residência na área em estudo 33

Figura 7 - Sobreposição dos levantamentos batimétricos de 1944 e de 2002 no Esteiro Sobradinho. Traçado do perfil longitudinal ao canal de acesso ao parqueamento a nado. 36

INDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Coordenadas UTM das estações de amostragem no sistema WGS84. 10

Quadro 2 - Tempos de enchente e de vazante, medidos em cada estação, para uma maré média de altura 2.3m..... 20

Quadro 3 - Amplitudes, fases e períodos da componente vertical da onda de maré para as constituintes M_2 e M_4 , para cada estação 20

Quadro 4 - Amplitudes, fases e períodos da componente horizontal da onda de maré para as constituintes M_2 e M_4 , para cada estação 21

Quadro 5 - Erros cometidos com a aplicação da análise harmónica, para as duas componentes da maré 21

Quadro 6 - Análise da distorção e assimetria da maré recorrendo à relação de amplitudes M_4/M_2 e à comparação das magnitudes das fases da enchente/vazante 22

Quadro 7 - Energia da maré e dissipação das componentes M_2 e M_4 , para cada estação 23

Quadro 8 - Dissipação de energia da onda de mare entre estações 24

Quadro 9 - Gradientes da superfície livre entre as estações de Nave Pegos e a de Quatro Águas, para 0 horas, 3 horas, 6 horas, 9 horas e 12 horas. Magnitudes positivas correspondem à descida da maré e negativos à subida da maré 24

Quadro 10- Gradientes longitudinais médios da velocidade da corrente definidos entre as estações de Nave Pegos e a de Quatro Águas, para 0 horas, 3 horas, 6 horas, 9 horas e 12 horas. Magnitudes positivas correspondem à vazante e negativos à fase da enchente	26
Quadro 11 - Volumes e caudais das fases da enchente e da vazante medidos nas estações: barra Faro-Olhão, barra São Luís, Centro Náutico, Bar da Gina, Quatro Águas e Nave Pegos	30
Quadro 12 - Tempos de Residência (TR) determinados para as várias estações	32

1 INTRODUÇÃO

O estudo da hidrodinâmica e do regime sedimentar do futuro local de implantação do parqueamento a nado de Nave Pegos foi baseado em dados reais, fundamentados em dados hidrodinâmicos e sedimentares medidos *in situ*, com base em séries de dados temporais representativas das condições hidrodinâmicas mareais no sistema lagunar, sob condições meteorológicas normais de pressão atmosférica, excetuando condições hidrodinâmicas associadas a eventos meteorológicos extremos de temporal/tempestade, ou de depressão frontal. Para esta informação foram consultadas fontes bibliográficas e informação hidrodinâmica local.

Os dados, resultados, discussão e conclusões usados no âmbito deste trabalho encontram-se publicados em parte na tese de mestrado Della (2013) defendida na Universidade do Algarve e no capítulo de livro com arbitragem científica de Duarte *et al.* (2019) publicado no âmbito do congresso internacional *INCREEaSE2019*. Todos os trabalhos desenvolvidos no âmbito do estudo da hidrodinâmica e do regime sedimentar, cumprem todos os requisitos da legislação em vigor.

2 METODOLOGIA

O estudo da componente hidrodinâmica e do regime sedimentar deste projeto foi baseado na recolha de informação hidrodinâmica *in situ*, referente às variações da superfície livre e da velocidade da corrente, medidas em 6 estações dispostas ao longo dos canais principais que condicionam de uma forma direta e/ou indireta, a hidrodinâmica da área de implantação do parqueamento a nado do projeto de Nave Pegos (Figura 1). Correspondem às estações das barras de Faro-Olhão e de São Luís, do Centro Náutico, das Quatro Águas e de Nave Pegos (localizada no Esteiro Sobradinho adjacente ao estaleiro).

Figura 1 - Distribuição espacial das estações: Nave Pegos (no Esteiro do Sobradinho), Quatro Águas, barra de São Luís, barra Faro-Olhão, na Ria Formosa.



Adaptado e modificado de Duarte *et al.* (2019) e Google Earth®.

As localizações geográficas destas 6 estações e respetivas coordenadas retangulares UTM, projetadas no sistema WGS84, encontram-se expressas na Figura 1 e no Quadro 1, respetivamente.

Quadro 1 - Coordenadas UTM das estações de amostragem no sistema WGS84.

Estações	x (UTM)	y (UTM)
Barra Faro-Olhão	23380.87	-299044
Barra São Luís	15564.26	-297957
Cais do Centro Náutico	13102.33	-295835
Quatro Águas	17077.1	-295254
Estaleiro Nave Pegos	16709.33	-294315
Bar da Gina	12309.32	-295100

Adaptado de Della *et al.* 2013, e Duarte *et al.*, 2019

Considerou-se que as séries de dados hidrodinâmicos obtidas nas estações da barra Faro-Olhão e nas Quatro Águas, definiram e foram representativas das condições hidrodinâmicas destas estações e dos respetivos ambientes de barra e de canal onde se inseriram, refletindo também as condições de propagação e de dissipação de energia da onda de maré ao longo da barra Faro-

Olhão, e ao longo do Canal do Cais Comercial até às Quatro Águas. As séries de dados obtidas nas estações de São Luís, do Centro Náutico, do Bar da Gina e das Quatro Águas, foram representativas das condições hidrodinâmicas dos respetivos ambientes onde se inseriram, bem como refletiram as condições hidrodinâmicas referentes à propagação e à dissipação de energia da onda de maré ao longo do Canal do Ancão e ao longo do Canal do Ramalhete. As estações das Quatro Águas e de Nave Pegos (Esteiro do Sobradinho), refletiram as condições hidrodinâmicas ocorridas ao longo dos canais mareais compreendidos entre as Quatro Águas e o Esteiro do Sobradinho, nomeadamente os canais definidos pelas Quatro Águas, pelo Canal do Ladrão e pelo Esteiro do Sobradinho, até à zona de Nave Pegos.

Para o estudo hidrodinâmico deste projeto, foram registadas *in situ* séries de dados hidrodinâmicos compreendidos entre 3 de junho de 2011 a 12 de maio de 2013. Em cada uma das estações de amostragem acima referidas, foram instalados Transdutores de Pressão (TPs) da marca *In-Situ Level Troll 700®* para medir a variação da superfície livre (componente vertical da maré), e um ADP (*Acoustic Doppler Current Profiler da Nortek®*) com o objetivo de colher séries de dados temporais das duas componentes da maré (a vertical e correspondente à variação da superfície livre da água e a componente horizontal (x), correspondente à velocidade da corrente. A instalação, fixação e manutenção destes equipamentos junto ao fundo do canal de cada estação, foi feita recorrendo ao mergulho científico.

A aquisição das séries de dados hidrodinâmicos nestas 6 estações de amostragem tiveram lugar no âmbito do projeto de investigação MaréFormosa (Estudo da Propagação e Dissipação de Energia da Onda de Maré na Ria Formosa, Sul de Portugal) que tem lugar no Centro de Investigação Marinha e Ambiental (CIMA), da Universidade do Algarve. O referido projeto de investigação tem decorrido também com a colaboração do promotor deste projeto, que envolve a facilitação de meios logísticos, técnicos, de serviços de apoio, de embarcação, sem os quais as atividades de campo e de mar do referido projeto de investigação com a aquisição de dados hidrodinâmicos e do transporte sedimentar *in situ*, não teria sido possível. Aqueles meios incluem o estacionamento de embarcação a seco e na água nas instalações do Estaleiro Naval de Nave Pegos, a sua manutenção e arranjo no caso de avarias, a sua colocação e remoção da água, bem como a disponibilização de instalações para lavagem, manutenção e guarda de equipamento científico e de mergulho. Também inclui a utilização de todos os serviços de apoio às atividades náuticas inerentes aos trabalhos de mar, tais como a permissão de uso das instalações sanitárias, zona de duchas, lavandaria, entre outras. Outras empresas, associações viveiristas locais e entidades regionais também têm colaborado com este projeto de investigação.

Foram recolhidas séries de dados hidrodinâmicos e sedimentares medidos *in situ* representativas das condições hidrodinâmicas mareais mais frequentes no sistema lagunar, sob condições meteorológicas normais de pressão atmosférica (abrangendo valores que rondaram os 760 mmHg,

ou os 1013 mb, de acordo com as condições meteorológicas normais definidas pelo Instituto Hidrográfico). Durante o período em análise, não foram recolhidas séries de dados referentes a condições hidrodinâmicas associadas a eventos meteorológicos extremos de temporal/tempestade, ou de depressão frontal. As séries temporais de dados hidrodinâmicos das duas componentes da maré resultantes das medições *in situ*, nas seis estações, referentes à variação da superfície livre e à velocidade da corrente, foram obtidas sob condições meteorológicas, que não contemplaram quadros meteorológicos de temporal/tempestade ou de depressão frontal (não condicionadas por ventos muito fortes com >50 km/h, na escala de *Beaufort*, e/ou por chuva forte com intensidade (ou taxa) da precipitação ≥ 10 mm/h, e/ou sob sistemas de baixa pressão, muito inferiores a <760 mmHg). As séries de dados referentes à variação da superfície livre foram calibradas com a pressão atmosférica local e ajustadas ao Zero Hidrográfico (ZH), com valores negativos abaixo deste e positivos acima do ZH.

As séries de dados obtidas em cada uma das 6 estações, referentes às duas componentes da maré, foram sujeitas à aplicação da análise harmónica de acordo com o método definido por Godin, 1972 in Foreman & Henry (1989), tendo sido calculadas as amplitudes e fases das principais constituintes que definem a propagação e a distorção da maré, M_2 e M_4 . Foram elaborados diagramas histeréticos da maré em cada estação considerando as duas componentes. A propagação da maré em sistemas de canais pouco profundos, interage com a fisiografia dos canais e com o fundo, gerando constituintes harmónicas de baixa profundidade e conseqüente distorção e assimetria na onda de maré (Dias e Sousa, 2009). A propagação da onda de maré pelas áreas pouco profundas dos canais da ria e mais distais às barras, está associada a uma dissipação da sua energia (com uma atenuação da constituinte M_2) e um incremento da distorção com o aumento relativo da amplitude de M_4 nas áreas interiores da ria (Duarte *et al.*, 2008; Dias *et al.*, 2009b). A amplitude da maré astronómica tende a diminuir com o aumento da distância às barras, enquanto ocorre um aumento da sua deformação da onda gerando atrasos nas suas fases (Dias e Sousa, 2009a). A distorção da componente vertical da maré, fundamente representada pelas constituintes semidiurnas (que explicam 84% daquela), cuja magnitude da distorção é representada pela relação de amplitudes entre M_4/M_2 , enquanto a natureza da assimetria (de vazante ou de enchente) quantificada pela diferença de fase $2M_2-M_4$. Considerando sectores dominados pela enchente ou pela vazante para relações de fase da componente vertical de $0^\circ < 2M_2-M_4 < 180^\circ$ e de $180^\circ < 2M_2-M_4 < 360^\circ$, respetivamente e maior distorção sofrida pela maré com um maior domínio da enchente ou da vazante, para relações de amplitude crescentes de M_4/M_2 , de acordo com Dyer (1997).

Os gradientes barotrópicos longitudinais de pressão identificados ao longo dos canais foram calculados recorrendo às diferenças medidas entre a componente vertical (superfície livre) ocorrida entre duas ou três estações adjacentes nos canais principais da ria Formosa (número de estações usadas para caracterizar a hidrodinâmica de cada canal). Passando-se o mesmo com os gradientes longitudinais da velocidade da corrente. Em cada estação de amostragem considerou-se que o

prisma de maré correspondeu ao volume de água que passou pela respetiva secção transversal, entre a preia-mar e a baixa-mar (Luketina, 1998) ou o volume de água que passou pela secção transversal durante a fase da vazante (Davis e Fitzgerald, 2004).

Os padrões de circulação das massas de água, os volumes de água em movimento nos vários sectores dos canais em estudo condicionam o tempo de exposição e o tempo de residência da água e do tempo de residência das substâncias com propriedades conservativas nela dissolvidas. Desta forma, o tempo de residência para além de relacionar os volumes de água residuais (retidos), com os caudais em movimento nas sucessivas fases de maré (e conseqüentemente com o prisma de maré), reflete igualmente o estado ambiental do sistema, os diferentes padrões de circulação, e particularmente os impactes resultantes das pressões antrópicas (Wolanski, 2007). As reduzidas dimensões das secções transversais dos canais de maré que dão acesso a Nave Pegos provenientes da Barra de Faro-Olhão e da Barra de São Luís permitem considerar a circulação lateral das massas de água, como desprezável (canais de maré respetivamente representados pelos do Cais Comercial, da Vasa da Galé, das Quatro Águas, do Ladrão e do Esteiro do Sobradinho, assim como representados pelos Canais do Ancão e do Ramalhete).

Para calcular a energia dos escoamentos ao longo dos canais recorreu-se à expressão de Pugh (1987), em que (h) representa a profundidade do canal não afetada pela maré, (η) a amplitude da maré, (U) a amplitude da componente longitudinal da corrente, (ρ) a densidade da água, e (g) a aceleração gravítica.

$$P = \frac{1}{2} \rho g h \overline{\eta U} \quad [W \text{ m}^{-1}]$$

A energia dissipada (D) da onda de maré foi calculada recorrendo ao quociente entre o fluxo de energia (P) e a distância percorrida entre duas estações adjacentes, de acordo com a seguinte expressão, em que (n) corresponde ao número da estação e (D) à dissipação da energia expressa em $W \text{ kg}^{-1}$.

$$D = [P_{n+1} - P_n] / L \quad [W \text{ m}^{-2}]$$

Os erros cometidos com a análise harmónica aquando da definição do melhor ajuste, entre os dados hidrodinâmicos obtidos *in situ* e os interpolados, foram estimados pelas seguintes expressões, em que a primeira definiu os erros referentes à variação da superfície livre e a segunda os erros cometidos para a velocidade, em que (η) correspondeu à amplitude da componente vertical, (u) e (v) as amplitudes das velocidades médias na coluna de água, (\square) representa os resultados numéricos e ($\square t$) is the number of time step (Fortunato *et al.*, 1997).

$$RMS_e = \sqrt{\frac{1}{nt} \sum_{i=1}^{nt} (\eta_i - \tilde{\eta}_i)^2} \quad e \quad RMS_v = \sqrt{\frac{1}{nt} \sum_{i=1}^{nt} \{(u_i - \tilde{u}_i)^2 + (v_i - \tilde{v}_i)^2\}}$$

Os Parâmetros hidráulicos geométricos dos canais usados para calcular as áreas das secções transversais dos canais ($A_{\eta,t}$), perímetro molhado ($P_{\eta,t}$), largura de superfície ($LS_{\eta,t}$), profundidade média ($h_{\eta,t}$) e raio hidráulico ($R_{h\eta,t}$) para cada estação (n) e durante o tempo (t), foram calculados de acordo com as seguintes equações.

$$\bar{h}_{\eta,t} = \frac{A_{\eta,t}}{LS_{\eta,t}} \quad e \quad R_{h\eta,t} = \frac{A_{\eta,t}}{P_{\eta,t}}$$

As velocidades medias dos escoamentos ($\bar{u}_{n,t}$) para cada estação (n), medidas ao longo do tempo (t), foram integradas na coluna de água de acordo com a seguinte expressão, em que (u_z) representou a velocidade à profundidade z, (z) a distância ao fundo expressa em metros, e (h) a profundidade do escoamento obtida no ADP (*Acoustic Doppler Current Profiler*).

$$\bar{u}_{n,t} = \frac{1}{h} \int_0^h u_z \cdot dz$$

O coeficiente de rugosidade do fundo (z_o) e as velocidades de cisalhamento no fundo (u_*) foram determinados a partir das duas leituras da velocidade medidas pelo ADP junto ao fundo, de acordo com o método gráfico da equação Universal de von Karman-Plandtl (u_z) definido em Open University (2000), em que (k) corresponde ao coeficiente de *von Karman-Plandtl* ($\kappa=0.41$).

$$u_{(z)} = \frac{u_*}{\kappa} \ln\left(\frac{z}{z_o}\right); \quad u_* = \text{slope_of_the_graph} / 5.756 \quad e$$

$$z_o = 10^{-\frac{(\text{interception_on_y_axis})}{\text{slope_of_the_graph}}}$$

O cálculo das velocidade médias para as secções transversais aos canais ($\langle \bar{u}_{n,t} \rangle$) de cada estação e no tempo, baseou-se nos modelos de Manning. A segunda expressão foi usada aquando de haver um único perfil de velocidades medido com o ADP na parte central da secção do canal considerando o coeficiente de rugosidade de Manning (C_m) constante ao longo da secção

transversal, e nulo o gradiente de energia transversal ($\frac{\partial E}{\partial y}$). Com (E) a representar o gradiente de energia do escoamento, ($\langle \bar{u}_{n,t} \rangle$) a velocidade média na secção transversal do canal, ($\bar{u}_{n,t}$) a

velocidade média integrada na coluna de água, lida na parte central do canal, (R_h) o raio hidráulico da secção transversal, e (\bar{h}) a profundidade da estação (ou a profundidade média \bar{h}).

$$\langle \bar{u}_{n,t} \rangle = \frac{1}{C_m} \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot E^{\frac{1}{2}} \quad \text{e} \quad \frac{\langle \bar{u}_{n,t} \rangle}{\bar{u}_{n,t}} = \frac{R_h^{\frac{2}{3}}}{\bar{h}^{\frac{2}{3}}}$$

As velocidades médias das fases da enchente e da vazante nas secções transversais em cada estação ($\langle \bar{u}_n \rangle_{flood}$ e $\langle \bar{u}_n \rangle_{ebb}$, respetivamente) foram determinadas de acordo com as seguintes expressões.

$$\langle \bar{u}_n \rangle_{flood} = \frac{\int_{t=0}^{t=t_{flood}} \langle \bar{u}_n \rangle_t \cdot dt}{T_{flood}} \quad \text{e} \quad \langle \bar{u}_n \rangle_{ebb} = \frac{\int_{t=0}^{t=t_{ebb}} \langle \bar{u}_n \rangle_t \cdot dt}{T_{ebb}}$$

A resultante da velocidade em cada ciclo de maré (velocidade residual) foi determinada de acordo com a seguinte equação. Resultante da velocidade = $\langle \bar{u}_n \rangle_{flood} - \langle \bar{u}_n \rangle_{ebb}$

$$\langle \bar{u}_n \rangle_{flood} = \frac{\int_{t=0}^{t=t_{flood}} \langle \bar{u}_n \rangle_t \cdot dt}{T_{flood}} \quad \text{e} \quad \langle \bar{u}_n \rangle_{ebb} = \frac{\int_{t=0}^{t=t_{ebb}} \langle \bar{u}_n \rangle_t \cdot dt}{T_{ebb}}$$

Os caudais (Q_n) e os volumes de água (V_n) em trânsito em cada estação (n) e ao longo do tempo (t) foram calculados de acordo com as seguintes expressões, considerando (A) a área da secção transversal do canal.

$$Q_{n,t} = \langle \bar{u}_{n,t} \rangle \times A_{\eta,t}$$

Os caudais de enchente e de vazante, foram integrados ao longo dos respetivos períodos de enchente e de vazante, em cada ciclo de maré.

$$Q_{n,t_{flood}} = \int_{t=0}^{t=t_{flood}} \left(\langle \bar{u}_{n,t} \rangle \times A_{\eta,t} \right) \cdot dt \quad \text{e} \quad Q_{n,t_{ebb}} = \int_{t=0}^{t=t_{ebb}} \left(\langle \bar{u}_{n,t} \rangle \times A_{\eta,t} \right) \cdot dt$$

O volume de água que transitou em cada estação durante a enchente (V_i) e durante a fase da vazante (V_e), foi calculado de acordo com as seguintes expressões:

$$V_f = Q_f \times t_{flood} \quad e \quad V_e = Q_e \times t_{ebb}$$

Considerando o tempo que em média uma partícula de água permanece numa determinada área do sistema lagunar, calcularam-se os tempos de residência (RT) de acordo com Sanford *et al.* (1992) in Wang *et al.* (2004), em que (V) representa o volume de água na maré baixa na área de estudo, (P) o prisma de maré, (T) o período da maré no local, (b) o fator de fluxo de retorno e (R) as descargas fluviais.

$$residence_time(RT) = \frac{(V + P/2)T}{(1-b)P + RT}$$

Considerando o prisma de maré (P) o volume da água do mar que entra (passa) pela estação durante a maré enchente, acrescido ao volume da massa de água de origem fluvial, aquele foi calculado de acordo com a seguinte expressão.

$$Tidal_prism(P) = V_{in_flood} + V_{in_from_river}$$

O fator de fluxo de retorno (b) foi determinado recorrendo à razão entre as diferenças das velocidades máximas de vazante e de enchente de acordo com Moore *et al.* (2006), em que (v_{M2}) representa a amplitude vertical da constituinte M_2 e U a velocidade média longitudinal integrada na coluna de água de acordo com (Moore *et al.*, 2006). (C_d) representa o coeficiente de atrito, (g) a aceleração gravítica, (h) a profundidade média da secção transversal do canal, e ($d\eta/dx$) o declive médio da superfície livre ao longo do canal.

$$b = \frac{v_{M2} - U}{v_{M2} + U} \quad e \quad C_d U^2 = -gh \frac{\partial \eta}{\partial x}$$

O coeficiente de atrito (C_d) foi determinado recorrendo às seguintes expressões (Soulsby, 1997).

$$\tau_o = \rho \cdot C_d \cdot \bar{u}^2 \quad e \quad \tau_o = \rho \cdot (u_*)^2$$

Este coeficiente de atrito foi igualmente calculado de acordo com o método definido por Bricker, J.D. *et al.* (2005), tendo por base uma leitura de velocidade medida a 1 metro do fundo, em que (z_o) representa o coeficiente de rugosidade, em que $u_z=0$ m/s quando $z=z_o$ m. O coeficiente (k) representa o coeficiente de von Karman-Prandtl, (ρ) a densidade da água, (τ_o) a tensão de corte ou

de cisalhamento de fundo, (\bar{u}) a velocidade média integrada na coluna de água e (u^*) a velocidade de corte de fundo.

$$C_d = \left(\frac{\kappa}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \right)^2 \rightarrow C_{100} = \left(\frac{\kappa}{\ln\left(\frac{100}{z_0}\right)} \right)^2$$

Depois de calculados os tempos de residência nas várias estações, a sua variação espacial foi interpolada pelo método IWD (*Inverse Distance Weight*) recorrendo a uma plataforma de informação geográfica SIG, usando um raio máximo de 4 pontos e uma distância de 4000 m entre estações.

O tratamento e a análise de toda a informação permitiu:

- A caracterização hidrodinâmica da área em estudo, e avaliar o seu regime sedimentar, tendo por base as propriedades físicas/sedimentares e propriedades não coesivas dos sedimentos de fundo;
- Estudar os principais padrões de circulação da água nos canais principais, tendo por base as leituras da velocidade da corrente e da variação da superfície livre, medidos nas várias estações;
- Estudar a propagação e a dissipação de energia da maré, estudar os gradientes longitudinais referentes às duas componentes da maré, bem como os atrasos sofridos pela maré nos diferentes locais;
- Quantificar os prismas de maré.

3 SITUAÇÃO ATUAL

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA HIDRODINÂMICA A NÍVEL LOCAL

3.1.1 Fisiografia

A disposição espacial das seis estações abrangeu as barras de Faro-Olhão e de São Luís (também designada de Barrinha), representadas pelas estações da Barra Faro-Olhão e da Barra S. Luís, respetivamente. Abrangeu também a confluência entre os canais do Ancão e do Ramallete, representada pela estação do Cais do Centro Náutico.

As Quatro águas, foi representada pela estação das Quatro Águas, correspondendo a uma zona de confluência entre o canal do Cais Comercial, o canal do Ramalhete, o Esteiro do Ladrão e a Regueira da Praça (Figura 1). Por fim, a estação de Nave Pegos, localizada adjacente ao Esteiro Sobradinho e ao Esteiro Nogueira que bordejia a área do estacionamento a nado deste projeto, a Sul. Estes confluem com o Esteiro do Moinho (ou Enxugadouro do Moinho) e o Esteiro Ladrão (ou Enxugadouro do Ladrão). O Esteiro do Ladrão drena água proveniente das Quatro Águas, enquanto o Esteiro do Moinho recebe água proveniente da Ribeira do Marchil.

A estação de Nave Pegos localizou-se no Esteiro Sobradinho, numa posição adjacente ao projeto de requalificação e ampliação do estaleiro de Nave Pegos (Quinta do Progresso – sítio da Panasqueira), e desta forma considerou-se ser representativa das condições hidrodinâmicas e sedimentares da área de implantação deste projeto do estacionamento a nado.

Por fim, a estação do Bar da Gina, localizada no setor distal do Canal do Ancão, a montante da ponte da Praia de Faro, foi considerada neste trabalho por se localizar e se enquadrar num canal de maré com características fisiográficas e hidrodinâmicas muito semelhantes ao Esteiro Sobradinho (estação de Nave Pegos).

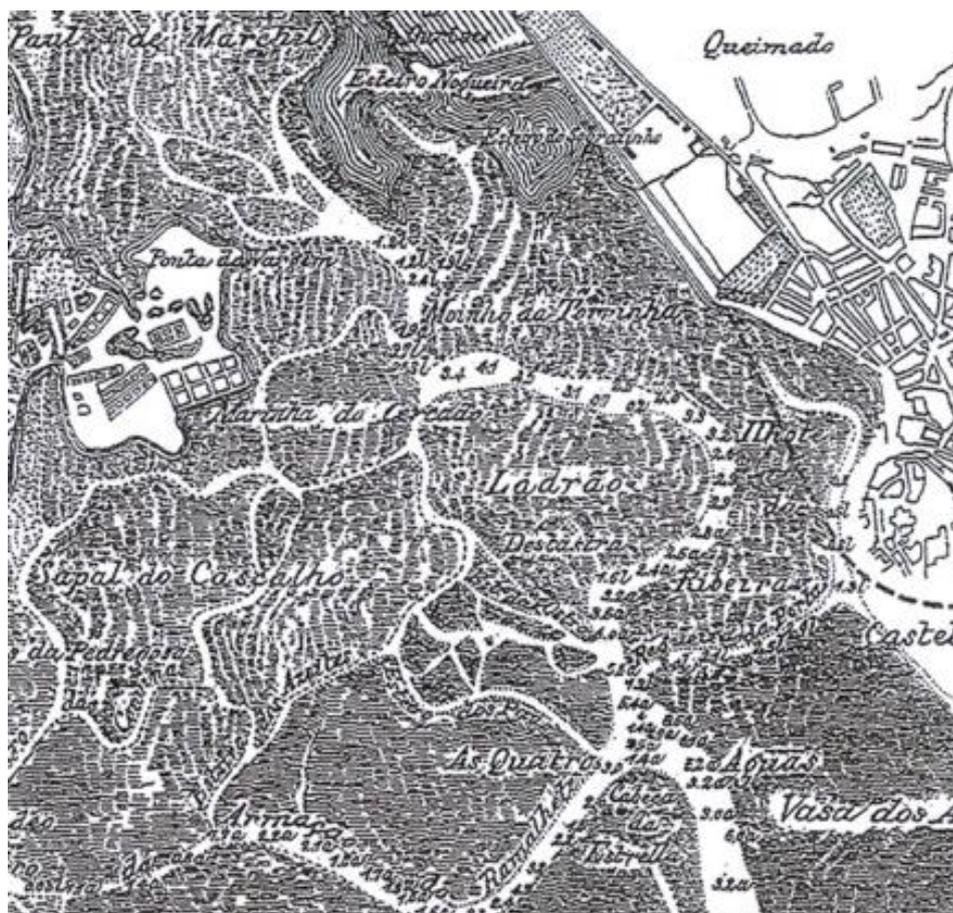
As estações de Nave Pegos e do Bar da Gina apresentaram características geomorfológicas, hidrodinâmicas e do transporte sedimentar muito semelhantes entre si. Ambas, sofreram recentes trabalhos de reposição de cotas batimétricas, apresentando seções transversais que na parte central do canal é definida por um ambiente submareal permanente de baixa que não ultrapassa os 2 metros na baixa-mar, e nas partes marginais, apresentam vastas áreas intermareais (planícies lodosas e ambientes de sapal). Ambas estações ocupam posições muito distantes das barras, em setores interiores sistema lagunar, caracterizados por um decréscimo muito gradual da profundidade para montante, em que os canais são caracterizados por uma hidrodinâmica dominada por regimes mareais fracos (com velocidades máximas de corrente de enchente ≤ 0.30 m/s).

A área lagunar adjacente ao estacionamento a nado de Nave Pegos, representada pelo esteiro Sobradinho, antes dos recentes trabalhos de manutenção de cotas, iniciados em 2012 e terminados em 2017, correspondeu a um ambiente de canal dominado pelas marés, com cotas batimétricas na zona do canal mais profundo compreendidas entre os -1.4 mZH (na confluência com os esteiros do Moinho e do Ladrão) e os -1.3 mZH (na bordadura com Nave Pegos). Com os recentes trabalhos de reposição de cotas, o esteiro Sobradinho na sua zona central, mais profunda, passou a apresentar batimetrias da ordem dos -2 mZH na parte central, ladeada por margens intermareais muito planas, de sapal, de planícies intermareais lodosas, ou de pequenas manchas de prados de ervas marinhas com cotas que rondam os +1.2 mZH.

O local correspondente ao estacionamento a nado deste projeto, futuramente a ser implantado na atual bacia de retenção antrópica, da antiga salina desativada, cuja geomorfologia se encontra descrita no Anexo III.7 – Geologia, Geomorfologia e Recursos Minerais.

Este esteiro contacta a Sul com os esteiros do Moinho e com do Ladrão. O esteiro do Ladrão desenvolve-se longitudinalmente até às Quatro Águas onde se atingem cotas batimétricas da ordem dos -5 mZH (zona de confluência de 4 esteiros). A Ribeira do Marchil, desagua no canal do Enxugadouro do Moinho, com cotas compreendidas entre os +0.5 mZH e os +1.4 mZH (a montante), que por sua vez conecta longitudinalmente com o esteiro do Ladrão, e marginalmente com o esteiro Sobradinho, a 300 m do estaleiro de Nave Pegos. Esta ribeira tem um regime de descargas muito sazonal, muito reduzidos durante o Verão, sempre relacionados com episódios pluviométricos, sendo drenados para o Esteiro do Moinho, que por sua vez direciona-os para o Esteiro do Ladrão e finalmente para as Quatro Águas (Figura 2).

Figura 2 - Levantamento batimétrico da zona envolvente ao projeto de ampliação e requalificação do estaleiro de Nave Pegos



3.1.2 Hidrodinâmica

Os resultados obtidos com a aplicação da análise harmónica às séries de dados hidrodinâmicos obtidos *in situ* nas 6 estações, permitiram determinar para as duas componentes da maré, as

amplitudes e as fases das constituintes harmónicas M_2 e M_4 , bem como os respetivos períodos, encontrando-se expressos nos quadros 2, 3 e 4.

Quadro 2 - Tempos de enchente e de vazante, medidos em cada estação, para uma maré média de altura 2.3m

estações	Períodos das fases (horas)	
	enchente	vazante
Barra Faro-Olhão	6.5	5.42
Barra São Luís	6.42	5.83
Centro Náutico	6.33	5.75
Bar de Gina	6.33	5.75
Quatro Aguas	6.5	5.67
Nave Pegos	6.42	5.5

Adaptado de Della *et al.* 2013, e Duarte *et al.*, 2019

Quadro 3 - Amplitudes, fases e períodos da componente vertical da onda de maré para as constituintes M_2 e M_4 , para cada estação

Estações	Altura da maré / elevação / nível da maré					
	M_2			M_4		
	período (horas)	amplitude (m)	fase (°)	período (horas)	amplitude (m)	fase (°)
Quatro Águas	12.17	1.13	359.03	6.09	0.10	131.28
Centro Náutico	12.08	1.08	348.12	6.04	0.06	145.73
Bar da Gina	12.08	1.17	350.24	6.04	0.05	149.98
Barra de São Luís	12.25	0.94	2.00	6.13	0.04	81.98
Barra Faro-Olhão	11.92	1.17	350.98	5.96	0.06	115.41
Nave Pegos	11.92	1.13	0.70	5.96	0.11	130.19

Adaptado de Della *et al.* 2013, e Duarte *et al.*, 2019

A amplitude da maré astronómica (representada por M_2) evidenciou um domínio hidrodinâmico da barra de Faro-Olhão quando comparada com a de São Luís (maiores amplitudes nas duas componentes da maré), bem como um decréscimo daquela para as estações mais interiores, até Nave Pegos, contrabalançada por aumentos relativos da constituinte harmónica de baixa profundidade, M_4 , em resultado do aumento da distorção da maré. As maiores amplitudes de M_4 registadas na barra de S. Luís estão relacionadas com a maior distorção sofrida pela componente horizontal da maré ao propagar-se neste ambiente muito pouco profundo, comparativamente à barra de Faro-Olhão.

Quadro 4 - Amplitudes, fases e períodos da componente horizontal da onda de maré para as constituintes M₂ e M₄, para cada estação

estação	Corrente de maré / velocidade					
	M ₂			M ₄		
	período (horas)	amplitude (m/s)	fase (°)	período (horas)	amplitude (m/s)	fase (°)
Quatro Águas	12.17	0.19	277.43	6.09	0.09	83.11
Centro Náutico	12.08	0.45	82.29	6.04	0.06	88.36
Bar da Gina	12.08	0.46	83.61	6.04	0.05	158.58
Barra São Luís	12.25	0.80	105.30	6.13	0.43	106.95
Barra Faro-Olhão	11.92	0.83	99.61	5.96	0.07	93.93
Nave Pegos	11.92	0.10	109.41	5.96	0.02	287.25

Adaptado de Della *et al.* 2013, e Duarte *et al.*, 2019

Os erros cometidos com a aplicação da análise harmónica às duas componentes da maré, encontram-se expressos no quadro 5.

Quadro 5 - Erros cometidos com a aplicação da análise harmónica, para as duas componentes da maré

Estações	Root Mean Square	
	<i>root mean square</i> da velocidade	<i>root mean square</i> da variação da superfície livre
Barra Faro-Olhão	0.052	0.054
Barra São Luis	0.132	0.072
Centro Náutico	0.058	0.066
Bar da Gina	0.054	0.129
Quatro Águas	0.053	0.046
Nave Pegos	0.047	0.049

Adaptado de Della *et al.* 2013

3.1.3 Propagação da maré

Neste setor interior e distal do sistema lagunar, aquando durante os períodos de maior caudal da Ribeira do Marchil mesmo coincidindo com as fases de enchente da maré, a massa de água de mistura resultante, que se propaga para montante ao longo do canal do Ladrão, apresenta uma estrutura vertical do tipo bem misturada. Nesta fase da maré, esta massa de água bem misturada é reorientada para montante preferencialmente para o Esteiro do Moinho (por se encontrar no alinhamento do canal do Ladrão), e lateralmente para desta massa de água orientada para o esteiro Sobradinho e conseqüentemente para a periferia do Estaleiro de Nave Pegos.

Os reduzidos caudais fluviais daquela Ribeira praticamente associados com os eventos pluviométricos, ao competirem com os escoamentos e com a turbulência resultantes da propagação da maré nos canais muito pouco profundos deste setor distal do sistema lagunar, tornam os movimentos das massas de água lacunares muito bem misturadas, sem qualquer estratificação de salinidade (ou de densidade) na coluna de água (com gradientes baroclínicos verticais da ordem dos $\Delta S_z \leq 0.005 \text{ ‰/m}$), e com gradientes baroclínicos longitudinais muito pequenos, da ordem dos $\Delta S_x \approx 1 \text{ ‰/1000m}$ (Duarte *et al.*, 2019). Os gradientes são resultado de uma forte mistura vertical e longitudinal das massas de água, conseqüente de uma da grande dissipação de energia dos escoamentos da maré com o fundo, e conseqüente aumento da turbulência interna, devido às baixas profundidades (inferiores a 5 m) e à diminuição gradual da batimetria para montante nos canais. Neste setor mais interno do sistema lagunar, o hidrodinamismo é fundamentalmente controlado pelos gradientes longitudinais de pressão barotrópicos. Em síntese, na área em estudo do parqueamento a nado de Nave Pegos, os escoamentos são muito bem misturados (tipo III, de acordo com Dyer, 1997), encontrando-se os principais padrões de circulação das massas de água fundamentalmente regulados pelos gradientes longitudinais de pressão resultantes das variações da superfície livre ao longo dos canais (gradientes longitudinais de pressão barotrópicos).

A análise da distorção e da assimetria da maré em Nave Pegos de acordo com a relação de amplitudes M_4/M_2 e da comparação das magnitudes entre as velocidades de enchente e de vazante, permitiu definir o domínio da fase da enchente na sua hidrodinâmica, conforme expresso no quadro 6. Esta relação de amplitudes para a componente vertical, permitiu também identificar que Nave Pegos e Quatro Águas corresponderam às estações que sofreram mais distorção da maré e conseqüentemente mais domínio da enchente, ou da vazante.

Quadro 6 - Análise da distorção e assimetria da maré recorrendo à relação de amplitudes M_4/M_2 e à comparação das magnitudes das fases da enchente/vazante

estação	Relação de Amplitudes (M_4/M_2)		Velocidade da maré (m/s)		
	altura	velocidade/ corrente	enchente	vazante	classificação
Quatro Águas	0.0924	0.49	-0.15	0.10	domínio da enchente
Centro Náutico	0.0587	0.13	-0.28	0.33	domínio da vazante
Bar da Gina	0.0388	0.10	-0.28	0.32	domínio da vazante
Barra de São Luis	0.0471	0.54	-0.63	0.46	domínio da enchente
Barra Faro-Olhão	0.0531	0.09	-0.57	0.47	domínio da enchente
Nave Pegos	0.0957	0.20	-0.10	0.04	domínio da enchente

Adaptado de Della *et al.* 2013, e Duarte *et al.*, 2019

3.1.4 Fluxos de energia e dissipação da maré

Calculados os fluxos de energia dos escoamentos nas diversas estações (expressos no quadro 7), constata-se que o fluxo de energia da maré nesta parte do sistema lagunar é fundamentalmente regulado pela barra Faro-Olhão (com 77364.5 W/m). Comparados fluxos energéticos registados nas diversas estações, constata-se que nas duas barras foram registados os maiores fluxos de energia dos escoamentos, bem como um decréscimo destes para as estações mais interiores do sistema lagunar, para magnitudes da ordem dos 3373 W/m em Nave Pegos, revelando um decréscimo da energia dos fluxos de maré ao longo dos canais, com o aumento das distâncias às barras.

Quadro 7 - Energia da maré e dissipação das componentes M_2 e M_4 , para cada estação

estações	Drag (Cd)	Coefficient	Fluxos de energia (W/m)	Dissipação da energia de M_2 (W/m ²)	Dissipação da energia de M_2/M_4 (W/m ²)
Barra Faro-Olhão	0.0034		77364.5	2.021	2.590
Barra São Luís	0.0020		28166.3	1.049	3.862
Centro Náutico	0.0013		16142.6	0.120	0.172
Bar da Gina	0.0179		13948.9	1.773	2.355
Quatro Águas	0.0065		10163.6	0.043	0.142
Nave Pegos	0.0038		3373.5	0.004	0.007

Adaptado de Della *et al.* 2013, e Duarte *et al.*, 2019

A dissipação da energia definida por $\square M_2$ e por $\square M_2/M_4$ ocorrida entre estações (quadro 7) realça este efeito de dissipação da energia da onda de maré para as estações mais interiores, apresentando Nave Pegos magnitudes da ordem dos 0.004 W/m² para M_2 e de 0.007 W/m² para M_2/M_4 . Os fluxos de energia dos escoamentos diminuem com o aumento da distância às barras.

Considerando as distâncias relativas entre as várias estações, no quadro 8 encontra-se expressa a dissipação de energia ao longo dos canais (entre estações sucessivas). A propagação da onda de maré entre a barra Faro-Olhão, o canal do Cais Comercial, o canal do Ladrão, e a estação de Nave Pegos, sofre a maior dissipação de energia, com uma magnitude da ordem dos 15.86 W/m², para uma distância relativa de 8366 m de distância percorrida. Entre a barra se São Luís e a estação de Nave Pegos, a maré ao percorrer o canal do Ancão, o canal do Ramalhete e por fim o canal do Ladrão, sofre uma dissipação da energia da ordem dos 13.7 W/m² para uma distância percorrida de 8592 m.

Quadro 8 - Dissipação de energia da onda de mare entre estações

Estações	Distância (m)	Dissipação da energia entre estações (W/m²)
Centro Náutico - barra São Luís	3251	3.70
Bar da Gina - barra São Luís	4331	3.28
Quatro Águas - barra Faro-Olhão	7356	9.14
Bar da Gina - Centro Náutico	1090	2.01
Centro Náutico - Quatro Águas	4020	1.49
Nave Pegos - Quatro Águas	1010	6.72

Adaptado de Della *et al.* (2013).

3.1.5 Gradientes temporais e longitudinais da superfície livre e da velocidade

Os gradientes longitudinais registados na superfície livre e da velocidade da corrente permitiram definir os principais padrões de circulação das massas de água ao longos dos canais principais, e em particular em nave Pegos. Tendo por base o período de um ciclo de maré em estudo, foram definidos os gradientes longitudinais entre a estação das Quatro Águas e a de Nave Pegos, em cinco fases distintas da maré, nos períodos: t1 (às 0h com início na preia-mar), t4 (3h, ou meio da descida da maré), t7 (ou próximo da estofa da baixa-mar), t10 (9h, ou a meio da subida da maré) e por fim t13 (12h após, próximo da estofa da preia-mar), tendo por referência a hora na barra Faro-Olhão, de acordo com os quadros 9 e 10, respetivamente para os gradientes longitudinais da superfície livre e da velocidade.

No quadro 9 encontram-se expressos os gradientes da superfície livre definidos entre as estações de Nave Pegos e a de Quatro Águas, para as várias fases da maré.

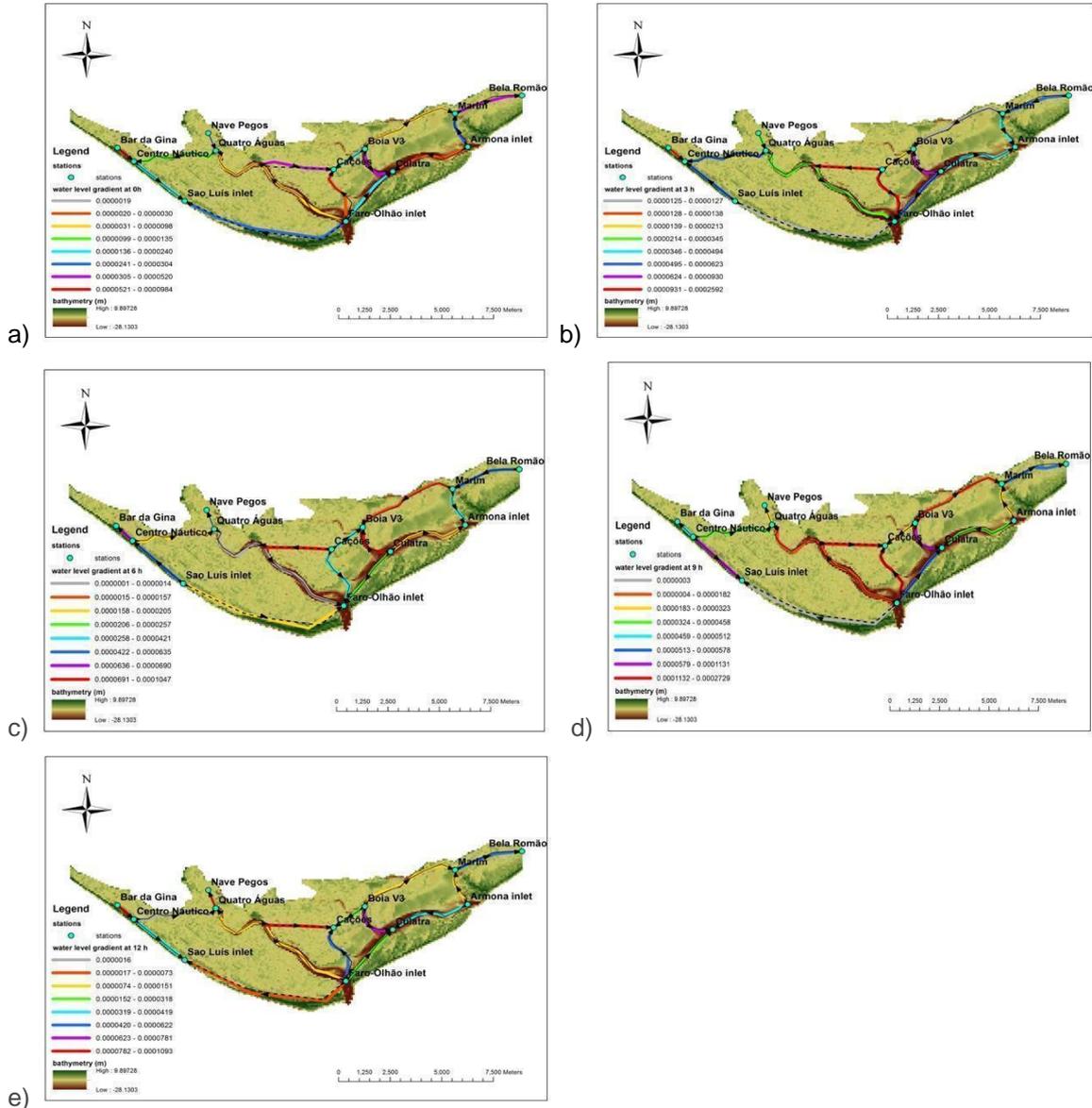
Quadro 9 - Gradientes da superfície livre entre as estações de Nave Pegos e a de Quatro Águas, para 0 horas, 3 horas, 6 horas, 9 horas e 12 horas. Magnitudes positivas correspondem à descida da maré e negativos à subida da maré

estações	Gradiente da superfície livre (dη/dx)				
	t1 (0 h)	t4 (3 h)	t7 (6 h)	t10 (9 h)	t13 (12 h)
Nave Pegos - Quatro Águas	0.0000019	0.0000345	-0.0000014	-0.0000305	-0.0000068

Adaptado de Della *et al.* (2013).

Na figura 3 encontram-se expressos os gradientes longitudinais definidos pela variação da superfície livre, entre as várias estações, para diferentes fases de maré.

Figura 3 - Gradientes barotrópicos longitudinais definidos entre as várias estações, para: a) gradiente correspondente às 0 horas na estação Faro-Olhão (fase da preia-mar, t1); b) 3h, ou meio da descida da maré, t4; c) 6h, ou próximo da estofa da baixa-mar, ou t7; d) 9h, ou ponto intermédio da subida da maré, t10; e) 12h, estofa da preia-mar, t13



Adaptado de Della *et al.* 2013, e Duarte *et al.*, 2019).

Quando projetados num sistema SIG os gradientes longitudinais da superfície livre registados entres as diferentes estações foi possível definir os vários padrões de variação da componente vertical da maré e consequentemente definir os principais. Na fase correspondente às 0 horas da Barra Faro-Olhão (na fase da preia-mar) constatou-se que todos os gradientes longitudinais nos escoamentos do sector Poente da Ria Formosa se encontram controlados pelos gradientes longitudinais barotrópicos controlados pela barra Faro-Olhão (evidenciando o domínio hidrodinâmico desta barra perante a de São Luís), encontrando-se a estação de Nave Pegos condicionada por um gradiente longitudinal, apenas da ordem dos $\nabla\eta/\nabla x \approx 0.0000019$ [gráfico a) da figura 3, quadro 9]. O gradiente

barotrópico registado entre Nave Pegos e as Quatro Águas aquando das 3 horas após o início da descida da maré (em Faro-Olhão, tempo t4), apresentou um declive em direção à barra Faro-Olhão, um valor longitudinal médio da ordem dos $\frac{\partial \eta}{\partial x} \approx 0.0000345$ [gráfico b) da figura 3]. Aquando da fase da baixa-mar (6h ou t7), o gradiente médio longitudinal da superfície livre definido entre Nave Pegos e as Quatro Águas foi apenas da ordem dos $\frac{\partial \eta}{\partial x} \approx 0.0000014$ [gráfico c) da figura 3]. Aquando da fase da enchente média (9h, t10), os gradientes médios longitudinais $\frac{\partial \eta}{\partial x} \approx -0.0000305$ [gráfico c) da figura 3]. No final da fase da enchente (12h, t13), os gradientes longitudinais médios da superfície livre definidos entre estas estações foram da ordem dos $\frac{\partial \eta}{\partial x} \approx -0.0000068$ [gráfico c) da figura 3, quadro 9].

No quadro 10 encontram-se expressos os gradientes longitudinais médios definidos entre as estações de Nave Pegos e a de Quatro Águas, da velocidade da corrente, para 0 horas, 3 horas, 6 horas, 9 horas e 12 horas do ciclo de maré em estudo.

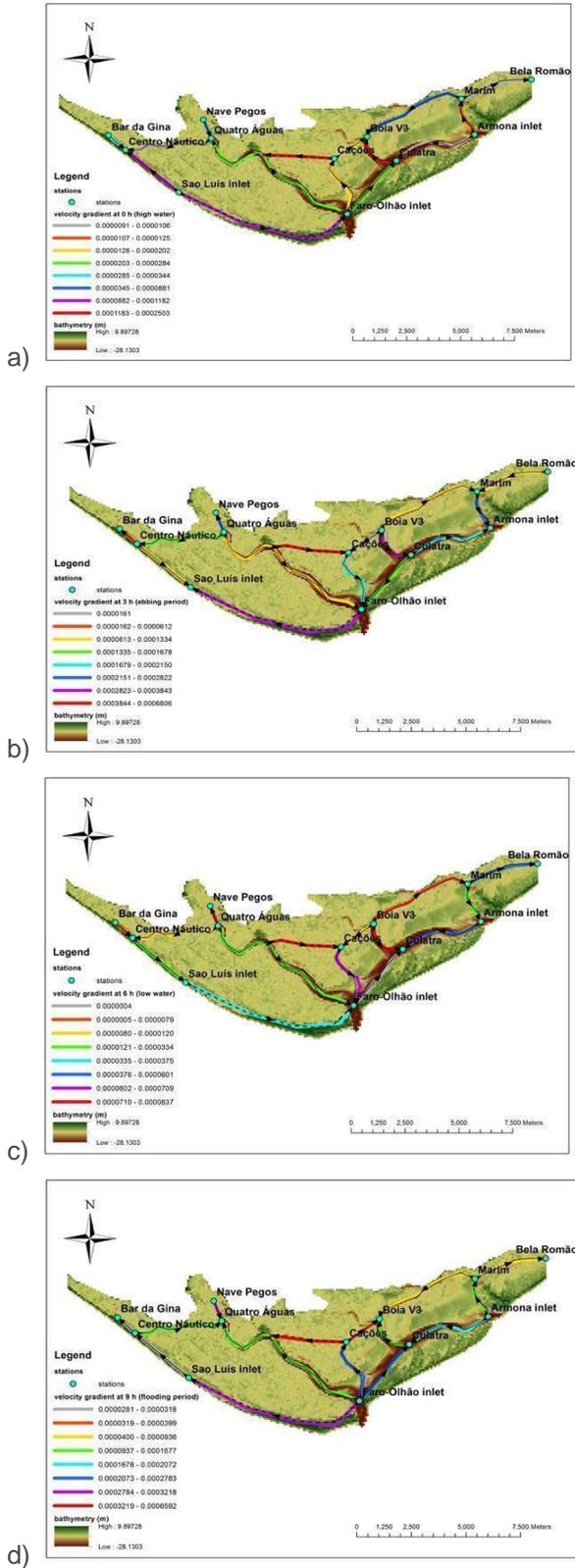
Quadro 10 - Gradientes longitudinais médios da velocidade da corrente definidos entre as estações de Nave Pegos e a de Quatro Águas, para 0 horas, 3 horas, 6 horas, 9 horas e 12 horas. Magnitudes positivas correspondem à vazante e negativos à fase da enchente

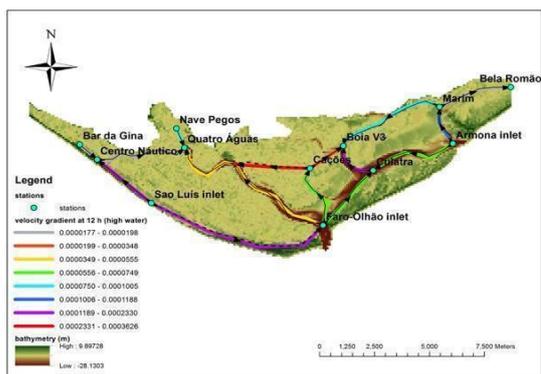
estação	Gradiente longitudinal da velocidade (dv/dx)				
	t1 (0 h)	t4 (3 h)	t7 (6 h)	t10 (9 h)	t13 (12 h)
Nave Pegos - Quatro Águas	-0.0000881	0.0002437	0.0000800	- 0.0003218	-0.0001005

Adaptado de Della *et al.* (2013).

Na figura 4 encontram-se expressos os gradientes longitudinais definidos pela variação da velocidade da corrente, entre as várias estações, para as diferentes fases de maré em estudo, para 0 horas, 3 horas, 6 horas, 9 horas e 12 horas.

Figura 4 - Gradientes longitudinais da velocidade da corrente definidos entre as várias estações, para: a) gradiente correspondente às 0 horas na estação Faro-Olhão (fase da preia-mar, t1); b) 3h, ou meio da descida da maré, t4; c) 6h, ou próximo da estofa da baixa-mar, ou t7; d) 9h, ou ponto intermédio da subida da maré, t10; e) 12h, estofa da preia-mar, t13





e)

Adaptado de Della *et al.* (2013).

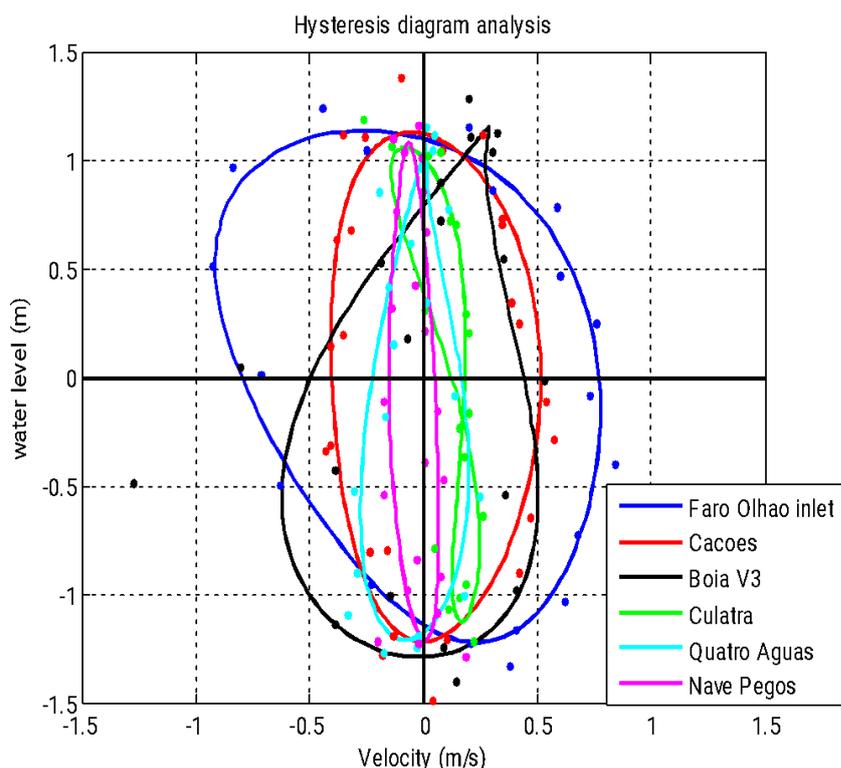
Quando projetados num sistema SIG os gradientes longitudinais da velocidade da corrente registados entre as várias estações na fase correspondente às 0 horas da Barra Faro-Olhão (na fase da preia-mar), constatou-se que todos os fluxos de água do sector Poente da Ria Formosa se encontram controlados pelos gradientes longitudinais barotrópicos resultantes da barra Faro-Olhão (evidenciando o domínio hidrodinâmico desta barra perante a de São Luís). Entre a estação de Nave Pegos e as Quatro Águas, o gradiente longitudinal médio da velocidade foi apenas da ordem dos $\Delta v / \Delta x \approx -0.0000881$, evidenciando um atraso desta componente horizontal da maré para este setor mais interior da lagoa [gráfico a) da figura 3, quadro 10]. O padrão de circulação das massas de água durante a fase média da vazante (às 3h, ou t4) foram definidos por gradientes longitudinais médios da velocidade ordem dos $\Delta v / \Delta x \approx 0.0002437$, evidenciando escoamentos longitudinais no sentido da barra de Faro-Olhão [gráfico b) da figura 3, quadro 10]. Aquando da fase das 6h (t7) os gradientes registados foram da ordem dos $\Delta v / \Delta x \approx 0.0000800$ evidenciando o atraso desta componente horizontal da maré na fase final da vazante. Na fase correspondente às 9h (t10), a meio da fase da enchente, os gradientes longitudinais médios da velocidade foram da ordem dos $\Delta v / \Delta x \approx -0.0003218$, evidenciando um domínio desta fase da maré quando comparada com as magnitudes dos gradientes da vazante. No final da fase da enchente, os gradientes da velocidade médios definidos entre a estação de Nave Pegos e as Quatro Águas foram da ordem dos $\Delta v / \Delta x \approx -0.0001005$ refletindo [gráfico e) da figura 3, quadro 10]. Na fase final da enchente (12h, t13), os gradientes longitudinais médios da superfície livre definidos entre estas estações foram da ordem dos $\Delta v / \Delta x \approx -0.0000068$ evidenciando o atraso sofrido pela maré horizontal nesta fase [gráfico e) da figura 3, quadro 9]. Estes gradientes na velocidade evidenciam o efeito de desaceleração da velocidade e consequentemente dos escoamentos à medida que estes se propagam das barras para os sectores mais interiores do sistema lagunar. Estes resultados referentes às duas componentes da maré permitiram definir os principais padrões de circulação na área de Nave Pegos, bem como definir que a sua hidrodinâmica se encontra fundamentalmente condicionada pelos escoamentos provenientes das Quatro Águas e por sua vez fundamentalmente pela barra Faro-Olhão.

3.1.6 Distorção da maré

Da análise dos diagramas histeréticos da maré nas várias estações em estudo, resultantes da aplicação da análise harmónica às séries de dados, projetados na figura 4, evidenciam a dissipação sofrida pela maré deste as barras aos sectores mais interiores do sistema lagunar, (neste caso de estudo, até à estação de Nave Pegos). Realçando o efeito dissipativo das duas componentes da maré (variação da superfície livre e velocidade da corrente).

O diagrama histerético de Nave Pegos evidencia uma clara assimetria nas magnitudes máximas da velocidade da corrente nas duas fases da maré, com um domínio durante a fase da enchente com magnitudes máximas da ordem dos 0.30 m/s e dos 0.15 m/s para a vazante (em resultado da propagação da maré salina). O respetivo diagrama histerético evidenciou também os efeitos distorcivos sofridos quer na componente horizontal, quer na horizontal da onde de maré.

Figura 5 - Diagramas histeréticos da maré das estações: barra Faro-Olhão, barra São Luís, Centro Náutico, Bar da Gina, Quatro Águas e Nave Pegos



Adaptado de Della *et al.* 2013, e Duarte *et al.*, 2019

3.1.7 Volumes em circulação e prismas de maré

No quadro 11 encontram-se expressos os volumes e os caudais calculados em cada estação durante as fases da enchente e da vazante. Da sua análise é possível constatar que na barra de Faro-Olhão foram determinados os maiores volumes e os maiores caudais em circulação, quando comparado com as diferentes estações (e barra de São Luís). Nas estações mais interiores (Bar da

Gina e Nave Pegos) foram determinados os mais pequenos. Em Nave Pegos os caudais e os volumes residuais foram de domínio da enchente, com magnitudes médias da ordem dos $-1.1E+07$ m^3 (Quadro 11).

Quadro 11 - Volumes e caudais das fases da enchente e da vazante medidos nas estações: barra Faro-Olhão, barra São Luís, Centro Náutico, Bar da Gina, Quatro Águas e Nave Pegos

Estações	Caudal (m^3/s)		Caudal residual (m^3/s)	Volume (m^3)		Volume residual (m^3)
	enchente	vazante		enchente	vazante	
	Quatro Águas	-1.0E+03		9.6E+02	-7.4E+01	
Centro Náutico	-1.4E+03	1.5E+03	6.3E+01	-5.1E+06	5.4E+06	2.3E+05
Bar da Gina	-9.4E+02	9.1E+02	-3.3E+01	-3.4E+06	3.3E+06	-1.2E+05
Barra São Luís	-2.7E+03	2.7E+03	-9.5E+01	-9.9E+06	9.5E+06	-3.4E+05
Barra Faro-Olhão	-1.6E+04	1.1E+04	-4.5E+03	-5.6E+07	4.0E+07	-1.6E+07
Nave Pegos	-3.6E+03	5.3E+02	-3.1E+03	-1.3E+07	1.9E+06	-1.1E+07

Adaptado de Della *et al.* (2013).

3.1.8 Sobre-elevação da Superfície Livre

No âmbito deste trabalho e para os esteiros Nogueira e Sobradinho (esteiros adjacentes a Nave Pegos) considerou-se um valor limite de sobre-elevação do nível médio da superfície livre da água $\leq 0.70m$, para os próximos 50 anos, relacionado com tempestades (efeito máximo conjugado: da pressão atmosférica, do efeito do vento e da agitação da superfície da água lagunar - *Storm surge*), de acordo com o descrito na Memória Descritiva de Arquitetura e no Projeto da Especialidade de Águas pluviais in Projeto de Rede de Esgotos Domésticos e Pluviais. Este valor adotado, majorado por forma a salvaguardar a segurança futura das infraestruturas deste projeto, resultou da análise e integração da informação disponível, que se passa a descrever:

Foram realizadas medições relativas à sobre-elevação do nível médio da superfície livre da água *in situ*, quer no cais de Nave Pegos, quer na zona costeira adjacente, aquando do temporal/tempestade do dia 2 de Março de 2010, pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA). Foram registadas pressão atmosférica registada de 1005mb, ventos costeiros de Sul com velocidades da ordem dos 33 nós (inf. Meteorológica do Aeroporto Internacional de Faro). Na linha de costa a sobre-elevação foi da ordem dos 0.8m, enquanto em Nave Pegos foi da ordem dos 0.12m.

No Estudo de Impacte Ambiental das Obras Abrangidas pela Ampliação Complementar do Porto de Recreio de Olhão, realizado em novembro 2020 (anexo iii.3 hidrodinâmica), para a zona do Porto de recreio de Olhão, foi considerado um valor limite de sobre-elevação do nível médio da superfície

livre da água $\leq 0.40\text{m}$. Para este setor lagunar, foi considerado um valor limite de sobre-elevação muito mais pequeno, muito embora ele esteja situado num setor distal do sistema lagunar, junto à cidade de Olhão, posiciona-se num setor cuja hidrodinâmica é controlada por dois canais de maré principais que interconectam diretamente com as barras da Armona e do Farol, e consequentemente sujeito a processos de distorção e propagação dos escoamentos muito menores aos verificados em Nave Pegos.

Em Portugal continental é usual utilizar os valores de sobre-elevação relativos ao temporal de Fevereiro de 1941, o mais violento desde que há registos sistemáticos da pressão atmosférica no Observatório do infante D. Diniz, em Lisboa, sob pressões atmosféricas da ordem dos 950mb ($\approx 961\text{mb}$ ao nível do mar), sob ventos sustentados com velocidades médias de $\approx 70\text{Km/h}$, que resultaram numa sobre-elevação registada na zona costeira de Lisboa da ordem dos 0.57m e da ordem dos 0.20m na linha de costa de Vilamoura (área muito próxima à linha de costa adjacente ao projeto). Esta diferença nos resultados, para além de poder justificada por diferenças de magnitudes dos processos nos dois locais, a forma da configuração da linha costeira e variação da plataforma interna em Lisboa, propicia uma maior magnitude desta sobre-elevação.

Trabalhos realizados relativos aos processos de sobre-elevação da superfície livre relacionados com tempestades na zona costeira de Marina de Vilamoura, realizados por TPF (2019) e atestados por LNEC (2019), consideraram limites estimados quanto à ocorrência isolada de cada um dos processos da ordem: dos $< 0.60\text{m}$ sob pressão atmosférica, dos $< 0.20\text{m}$ sob o efeito do vento e dos $< 0.70\text{m}$ sob o efeito exclusivo da agitação marítima. Consideram que em situação de tempestade estas variáveis interdependentes o limite da elevação será menor que a soma das parcelas correspondentes a cada uma. Embora considerem haver uma imprecisão elevada ao estabelecer um valor limite conjugado, na prática mostraram ser razoável admitir um valor limite de 1.0m para a zona costeira, e um valor limite de 0.60m para o interior da marina de Vilamoura. Consideraram inferior em resultado dos efeitos de dissipação de energia dos escoamentos associados distorção dos escoamentos e à dissipação da energia da água ao entrar na referida marina.

Sob períodos de temporal/tempestade e de ventos fortes, os escoamentos e os padrões de circulação das massas de água superficiais são também condicionados pela orientação, sentido e magnitudes dos ventos. No sistema lagunar, a morfologia e variações batimétricas das barras e dos canais de maré até os setores mais distais, assim como, as extensas áreas de sapal e de planícies intermareais, são responsáveis por um decréscimo do efeito de sobre-elevação da superfície livre para o interior deste sistema costeiro pela ação da distorção e dissipação de energia dos fluxos de água, razão de se ser adotado um valor limite de sobre-elevação do nível médio da superfície livre da água $\leq 0.70\text{m}$, para os próximos 50 anos.

3.1.9 Tempos de Residência

No quadro 12 encontram-se expressos os tempos de residência determinados para as várias estações em estudo, expressos em dias.

Quadro 12 - Tempos de Residência (TR) determinados para as várias estações

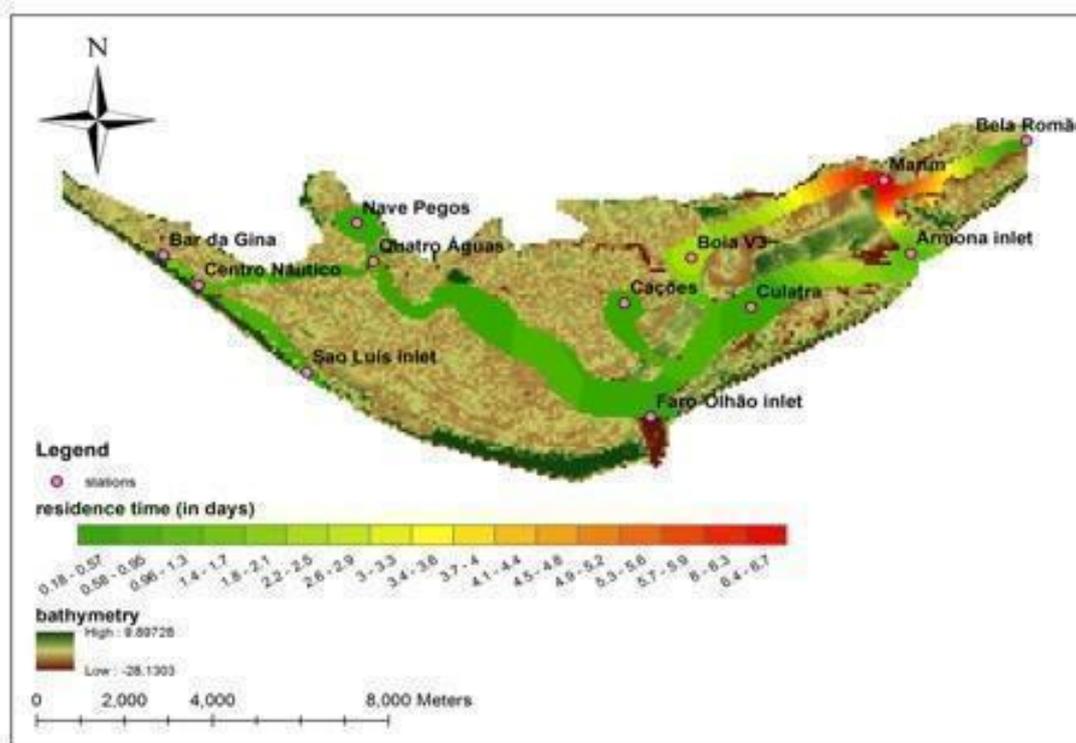
Estações	Tempo de residência (dias)
Barra Faro-Olhão	0.5
Barra São Luís	0.5
Cais Centro Náutico	0.8
Bar da Gina	1.7
Quatro Águas	0.3
Nave Pegos	1.0

Adaptado de Della *et al.* 2013, e Duarte *et al.*, 2019).

Quando analisados os tempos de residência (TR) nas várias estações, verificou-se que as barras foram caracterizadas por uma boa troca de água, enquanto nos sectores mais interiores da região (Oeste da Ria Formosa) apresentaram tempos de residência mais elevados, com exceção da estação de Nave Pegos. Nas duas barras em estudo, o regime semidiurno da maré foi responsável pelos tempos de residência com magnitudes da ordem dos 0.5 dias. A série de dados maregráficos colhida na estação de Nave Pegos no âmbito deste relatório, foi obtida num período de tempo anterior aos recentes trabalhos de reposição de cotas que tiveram lugar neste Esteiro Sobradinho (ou esteiro de Nave Pegos), representando condições hidrodinâmicas de um canal intermareal, ficando submerso durante as fases de baixa-mar, distante vários quilómetros das barras, justificando desta forma os tempos de residência da ordem dos 1.0 dias. Após a conclusão dos recentes trabalhos de reposição de cotas, o setor central deste canal foi rebaixado até à batimetria - 2 mZH continuando a definir um ambiente submareal (sempre imerso a fim de permitir o tráfego dos barcos à vela).

Quando projetados num sistema de informação geográfico os tempos de residência calculados para as 6 estações em estudo e projetadas as respetivas variações espaciais recorrendo às respetivas interpolações espaciais pelo método IDW, foi possível elaborar a figura 5. Nesta figura é possível visualizar a variação espacial dos TR ao longo dos canais dos Cais Comercial até às Quatro Águas, a variação espacial do TR ao longo do canal do Ancão e do Ramalhete até às Quatro Águas, bem como a variação longitudinal do TR entre as Quatro Águas e a estação de Nave Pegos.

Figura 6 - Variação espacial dos tempos de residência na área em estudo



Adaptado de Della *et al.* 2013, e Duarte *et al.*, 2019).

3.2 REGIME SEDIMENTAR

3.2.1 Cobertura sedimentar

Os sedimentos que caracterizam a camada superficial da zona do esteiro Sobradinho (esteiro Largo) e áreas intermareais adjacentes são fundamentalmente constituídos por sedimentos finos (silto-argilosos) ricos em matéria orgânica, definidos fundamentalmente por siltes argilosos, siltes arenosos, silte-argilo-arenosos e areias siltosas, que formam os ambientes de sapal, as planícies intermareais lodosas, pequenos prados de ervas marinhas e os fundos do canal. Todo o material detrítico no Esteiro Sobradinho nesta última intervenção de manutenção/reposição de cotas de 2017, correspondeu a sedimentos lutíticos (silte argilosos a siltes arenosos) transportados e depositados neste esteiro por regimes mareais fracos (com magnitudes máximas de enchente $u_x \leq +0.30$ m/s e magnitudes máximas de vazante $u_x \geq -0.15$ m/s), onde os processos de decantação predominam nos períodos adjacentes às estofas da maré. O esteiro do Ladrão, na parte imersa e nas suas margens, é constituído por areias siltosas, areias silto-argilosas, siltes-argilosos, silte arenosos e por silte-argilo-arenosos. Nos ambientes mais próximos da confluência com os Esteiros do Moinho e Sobradinho predominam as texturas mais finas, enquanto nas proximidades das Quatro Águas, dominam as texturas mais grosseiras e arenosas.

3.2.2 Caracterização do regime sedimentar nível local

A distribuição espacial dos sedimentos lutíticos (silto-argilosos, ricos em matéria orgânica, definidos fundamentalmente por siltes argilosos, silte arenosos, silte-argiloso arenosos e areias siltosas. As texturas mais grosseiras encontram-se no fundo dos canais), de toda a zona lagunar envolvente de Nave Pegos, representada pelos ambientes de canal do Esteiro Sobradinho e Esteiro Nogueira, pelos ambientes de baixo e médio sapal, pelas planícies intermareais lodosas e por prados de ervas marinhas, resulta da matéria particulada (orgânica e inorgânica) transportada em regime de suspensão pelas correntes de maré de baixa magnitude, neste setor distal do sistema lagunar. As longas estofas da maré, a baixa profundidade, a fisiografia e a presença de plantas de sapal e das ervas marinhas, promovem a sedimentação e a retenção destas partículas finas. Os processos de transporte das partículas sedimentares no Esteiro Sobradinho e nos ambientes envolventes, são processados fundamentalmente em regimes de suspensão, transportando partículas lutíticas pelas correntes de maré. As correntes de maré neste sector não apresentam competência hidráulica para transportar em regime de tração e saltação partículas sedimentares mais grosseiras (areias grosseiras ou superiores).

Partículas arenosas mais finas são transportadas em regimes de tração e saltação, em períodos de marés vivas, ao longo do esteiro do Ladrão.

Em períodos de temporal, com ventos fortes dos rumos SW a SE, toda esta área de Nave Pegos é alimentada com partículas arenosas de natureza marinha, transportadas eolicamente, sendo provenientes do cordão dunar principal do sistema de ilha-barreira da zona da ilha Deserta e da restinga do Ancão.

3.2.3 Taxa média de sedimentação no Esteiro Sobradinho

A quantificação da taxa média de sedimentação no canal de acesso ao parqueamento a nado (Esteiro Sobradinho), foi determinada com base no método de sobreposição de dois levantamentos batimétricos, de 1944 e de 2002. O primeiro levantamento (1944) corresponde às telas finais dos trabalhos de manutenção do canal acima referido, ou seja, após manutenção do canal de acesso e bacia de manobra, para as cotas de -2 mZH. O segundo levantamento (o de 2002) corresponde ao levantamento efetuado para a obtenção da última licença de manutenção do referido canal.

Da sobreposição vetorial dos dois levantamentos acima referidos, foi definido um perfil longitudinal ao canal de acesso ao parqueamento a nado, com um comprimento longitudinal da ordem dos 523.50 m (figura 6), no qual foi medida uma secção de acumulação da ordem dos 1380.578 m², a que corresponde uma altura média no referido perfil de 2.637 m ($1380.578\text{m}^2/523.50\text{m} = 2.637\text{ m}$). Considerando o período de 58 anos decorrido entre os referidos levantamentos batimétricos, foi possível estimar uma taxa média de sedimentação anual (TS), da ordem dos 0.0455 m/ano ($2.6271\text{m}/58\text{ anos} \approx 0.0455\text{ m/ano}$). Os sedimentos acumulados durante este período no Esteiro

Sobradinho corresponderam fundamentalmente a vasas silto-argilosas que atapetaram o fundo do canal de maré deste setor distal da ria. Formaram uma camada sedimentar com grandes quantidades de água intersticial, ainda não sujeitas aos processos naturais de compactação pela pilha sedimentar (superior), neste sistema costeiro com uma tendência evolutiva subsidente. Com o evoluir do tempo e com o aumento do “peso” da coluna sedimentar é responsável pela compactação gradual destes sedimentos lutíticos e pela remoção da sua água intersticial.

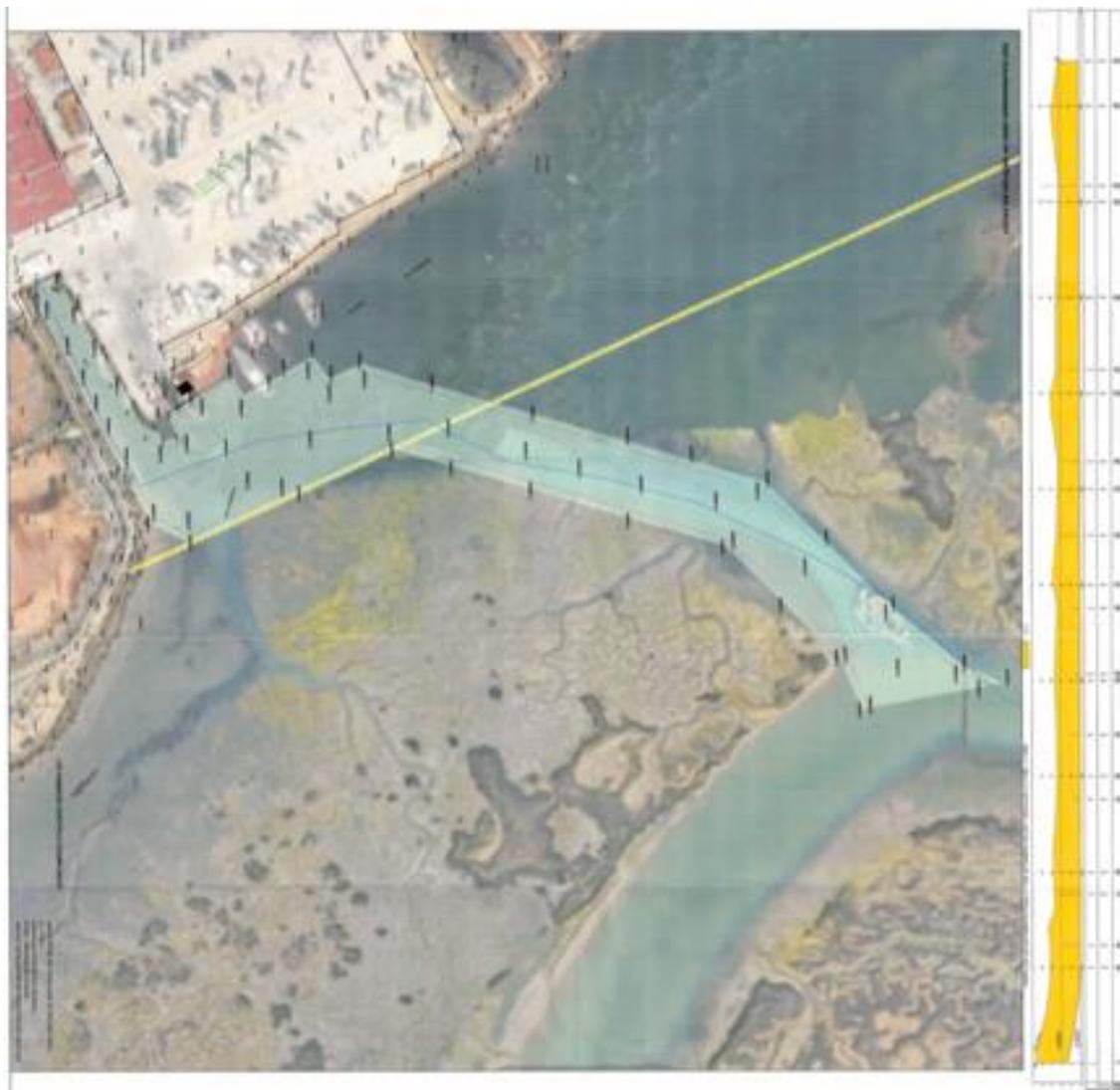
Esta taxa média anual de sedimentação estimada para o Esteiro Sobradinho, da ordem dos TS \approx 0.045 m/ano, quando comparada com outros resultados obtidos no âmbito de trabalhos em contextos hidrodinâmicos e geomorfológicos muito similares, realizados em ambientes igualmente distais no sistema lagunar da Ria Formosa, designadamente no Estudo de Impacte Ambiental das Obras Abrangidas pela Ampliação Complementar do Porto de Recreio de Olhão. Neste trabalho realizado em novembro 2020 (anexo iii.3 hidrodinâmica), para a zona do Porto de recreio de Olhão, foi considerado uma taxa média de sedimentação anual igual de TS = 0.045 m, tendo por base a mesma metodologia informática, com a sobreposição de levantamentos batimétricos espaçados no tempo. A semelhança destes resultados, reforça a adoção da TS para o projeto de Ampliação e Requalificação do Estaleiro Naval de Nave Pegos.

Esta taxa de sedimentação média, anual, natural da ordem dos 0.045 m/ano, justifica um plano de manutenção de cotas batimétricas do canal de acesso e da bacia de manobra, periódico, propondo-se a ser realizado de 5 em 5 anos, mediante a realização de levantamento batimétrico prévio, ou sempre que assim o justifique, garantindo uma cota segura de navegação de -2.0 mZH. Estes trabalhos de manutenção da batimetria do canal de navegação e de acesso ao estaleiro, têm a necessidade de realização por razões de segurança, uma vez que estes setores distais da Ria Formosa se comportam como armadilhas naturais de sedimentos e de matéria particulada, entre outras partículas. Com a proposta de realizar as campanhas de manutenção com um período intercalar curto (de penas 5 anos), desta forma não se permitirá a acumulação de uma grande espessura de sedimento lutítico no fundo deste canal e da bacia de manobra, fazendo com que estes trabalhos de manutenção sejam curtos no tempo, e desta forma, também não coincidentes com períodos de maior sensibilidade ecológica.

A título comparativo, no EIA anteriormente citado (das Obras Abrangidas pela Ampliação Complementar do Porto de Recreio de Olhão), foi adotado um Plano plurianual de dragagens portuárias, inseridas num plano global de dragagens ao longo do Canal de Olhão (necessário para assegurar a cota de -4,0 mZH no canal). Importa também realçar que estas taxas médias anuais de sedimentação refletem contextos iniciais de sedimentação em ambiente lagunar, em setores distais às barras, dominados pelos processos de transporte sedimentar em regime de suspensão, onde os processos de sedimentação por decantação (resultantes dos processos de agregação e aglutinação de matéria particulada muito fina, formam pequenos agregados, que com as estofas da maré

precipitam em direção ao fundo. Forças electrostáticas (maioritariamente de *Van der waals*) e a rugosidade natural do fundo do referido esteiro, promovem a sua retenção e fixação no fundo, num contexto sedimentar muito rico em água intersticial.

Figura 7 - Sobreposição dos levantamentos batimétricos de 1944 e de 2002 no Esteiro Sobradinho. Traçado do perfil longitudinal ao canal de acesso ao parqueamento a nado.



4 EVOLUÇÃO PREVISÍVEL DA SITUAÇÃO ATUAL NA AUSÊNCIA DO PROJETO

Se este projeto da construção do parqueamento a nado de Nave Pegos se não se vier a concretizar, as alterações hidrodinâmicas e do regime sedimentar resultantes da exposição da atual bacia antropizada seca (correspondente à antiga salina) aos agentes de meteorização externa e ao hidrodinamismo dos esteiros Sobradinho e Nogueira, vão corresponder:

- Após cada evento pluviométrico local, a água da chuva tenderá a ser retida na bacia atual antrópica, gerando um espelho de água doce artificial que tenderá aumentar a sua energia potencial com os eventos pluviométricos sucessivos. A geomorfologia da bacia, as dimensões e a sua impermeabilização artificial parcial (vide Anexos III.7 e III.8), não permitem que ali sejam gerados gradientes longitudinais de pressão baroclínicos e/ou barotrópicos na massa de água retida. Esta, passará a comportar-se como uma massa de água doce, parada, desprovida de renovação e de circulação espacial, sem qualquer conexão direta com o ambiente lagunar. Este tipo de ambiente não vai permitir a renovação e a oxigenação eficiente desta massa de água retida na bacia, fazendo com que adquira tempos de residência muito elevados, e conseqüentemente no tempo, a sua degradação do ponto de vista químico, ambiental e biológico. Corresponderá a um impacte ambiental negativo muito significativo (-3), permanente (P);

- Concomitantemente, este espelho de água doce, artificial, fechado, sob a ação dos agentes de geodinâmica externa vai permitir que sejam promovidos processos de erosão no interior da bacia, nomeadamente no muro de contenção deste reservatório, e levar à sua rutura, num ou mais pontos. Desta forma, convertendo este espelho de água doce num sistema semi-fechado de água salobra, ligando ao sistema lagunar pelas ruturas/aberturas no muro de contenção. Considera-se corresponder a um impacte ambiental negativo muito significativo (-3), permanente (P);

- Com o evoluir dos processos erosivos no(s) ponto(s) de rutura(s) no muro de contenção, as trocas de água que vão ter lugar entre o interior da bacia e as massas de água mareais nos esteiros Sobradinho e Nogueira, será feita de uma forma assimétrica e desequilibrada entre os dois reservatórios, promovendo o aumento de uma forma considerável do tempo de residência da água salobra no interior deste reservatório artificial, confinado. Este aumento do tempo de residência no interior deste reservatório semi-aberto traduzir-se-á por uma maior capacidade de retenção: da água, de sedimentos, de matéria orgânica e de nutrientes no interior do espelho de água artificial, que se traduzirá num decréscimo da qualidade química, ambiental e ecológica do mesmo, constituindo um impacte ambiental negativo muito significativo (-3), permanente (P);

- Este sistema semi-fechado comportar-se à como uma armadilha artificial de tudo o que possa circular nas imediações no sistema lagunar (nos esteiros Sobradinho e Nogueira), reunindo todas as condições para serem fomentados potenciais processos de eutrofização neste espelho de água salobra artificial, bem como possam vir a ocorrer uma degradação ambiental generalizada do sistema, quer ao nível da qualidade química e física da água, quer ao nível das comunidade biológicas, quer ao nível dos sedimentos que se irão acumular no seu interior, mais argilosos e mais ricos em matéria orgânica (MO). Os processos anaeróbicos de redução da MO na água intersticial daqueles sedimentos muito lutíticos serão promovidos, bem como: as comunidades microbiológicas anaeróbicas, os processos de redução da matéria orgânica, e conseqüentemente a acidificação dos

sedimentos e da água que interage com eles. impacte ambiental negativo muito significativo (-3), permanente (P).

5 AVALIAÇÃO DE IMPACTES

5.1 FASE DE CONSTRUÇÃO

Durante a fase de construção, a bacia artificial que vai ser escavada a seco, comportar-se-á como uma bacia artificial de retenção de águas pluviais após eventos pluviométricos locais, promovendo a retenção de água no seu interior. Representa um impacte negativo (-1), temporário (T).

Uma vez que os sedimentos e ser removidos a seco, pertencentes à Formação de Ludo (PQ_{LU}), correspondem a material desprovido de qualquer contaminação (Classe 1 da Portaria 1450/2007, de 12 de novembro), permite que a água bombeada do interior do parqueamento possa ser direcionada para o sistema lagunar. Considera-se representar um impacte indiferente (0). ou impacte positivo (+1), temporário (T).

A construção da bacia do parqueamento, que se fará a seco, sem qualquer conexão direta com o sistema lagunar representa um impacte indiferente (0).

5.2 FASE DE EXPLORAÇÃO

A bacia sedimentar do futuro parqueamento a nado, durante a fase de exploração, vai ter uma hidrodinâmica controlada por dois sistemas de troca de água com o sistema lagunar: o de escoamento/enchimento autónomo e o de renovação passivo de troca de água, cujo funcionamento permitirá salvaguardar que:

- A massa de água do parqueamento a nado estará em equilíbrio hidrodinâmico com o meio lagunar adjacente, com balanços de massas de água equilibrados, salvaguardando os mesmos tempos de residência nos dois ambientes. Só por si, o sistema passivo de troca de água está desenhado por forma a salvaguardar as trocas de água e os fluxos de massa de água naturais longitudinais resultantes dos gradientes barotrópicos longitudinais de pressão que se estabelecem entre os dois reservatórios (o natural nos esteiros Sobradinho e Nogueira e o reservatório artificial, o parqueamento a nado). Considera-se representar um impacte positivo muito significativo (+3), permanente (P).

- Os dois sistemas de escoamento/enchimento autónomo e de renovação passivo de troca permitirão também salvaguardar um balanço sedimentar em regime de suspensão equilibrado (praticamente nulo) entre os dois sistemas, com taxas médias de sedimentação anuais muito semelhantes nos dois sistemas (Esteiro Sobradinho e o parqueamento). Aqueles sistemas de escoamento/enchimento do parqueamento permitirão ocorrer taxas médias de sedimentação anuais muito semelhantes às do Esteiro Sobradinho. Corresponde a um impacte positivo muito significativo (+3), temporário (T).

- Na zona de sombra hidrodinâmica do interior do parqueamento a nado (vide Plano Geral, páginas 17 a 22), prevê-se que apresente uma taxa média anual de sedimentação ligeiramente superior. Considera-se que este representa um Impacte negativo pouco significativo (-1), temporário (T).

O sistema passivo de troca de água tem por finalidade garantir a troca de água entre o parqueamento a nado e o meio lagunar adjacente salvaguardando os mesmos TR. A solução construtiva adotada, inovadora também permitirá para além da produção hidroelétrica, com base nos gradientes longitudinais de pressão barotrópicos gerados no sistema renovação passivo de troca de água, permitindo tornar todo o Estaleiro de Nave Pegos autossustentável do ponto de vista energético (vide Memória descritiva do EIA). Impacte positivo muito significativo (+3), permanente (P).

A solução construtiva adotada de troca de água no parqueamento também permitirá no caso de ocorrer um evento de afetação ambiental no interior do parqueamento, controlar em ambiente fechado eventuais problemas químicos, físicos, sedimentares e/ou biológicos, de origem natural, ou resultantes de atividades antrópicas negligentes (impacte ambiental positivo muito significativo (+3), temporário (T)).

O controle destes dois sistemas de troca de água no parqueamento a nado (comporta móvel e sistema passivo), também vai permitir, em caso de uma emergência ambiental resultante por exemplo de um derrame negligente por parte de um utente, de um poluente ou de um contaminante para o parqueamento, permitir fechar os sistemas de trocas de águas com o meio lagunar, e desta forma salvaguardar a integridade ambiental dos esteiros Sobradinho e Nogueira. Permitem em segurança e sob um ambiente controlado no parqueamento a nado totalmente isolado do meio exterior, que se intervenha de forma eficiente, implementando medidas de mitigação ambiental. Impacte positivo muito significativo (+3), temporário (T).

A solução construtiva adotada, para além de assegurar balanços de massa equilibrados de água e sedimentos, os mesmos tempos de residência, decorrentes entre o sistema lagunar e no parqueamento (impactes positivos muito significativos), que em conjunto irão contribuir para o bom estado químico e físico da água no parqueamento, bem como para o estado ecológico e ambiental.

Desta forma será possível assegurar ambientes físico-químicos e ecossistemas lagunares no interior do futuro parqueamento a nado saudáveis e sustentáveis. Impactes positivos muito significativos (+3), temporário (T).

Realça-se que a comporta móvel corredeira deste sistema tem por principal finalidade permitir a entrada e saída de embarcações à vela do parqueamento a nado e o respetivo resguardo e parqueamento em ambiente aquático. representa um impacte indiferente (0).

Identifica-se e quantifica-se como impacte negativo significativo (-2) e permanente (P), a necessidade de executar trabalhos de correção do fundo do canal periódicos, por forma manter as cotas batimétricas e desta forma assegurar o acesso em segurança de embarcações à vela que possam navegar na área adjacente do projeto, para minimizar a tendência natural de sedimentação de material lutítico no Esteiro Sobradinho e na bacia de manobra (à semelhança dos trabalhos de manutenção de cotas que já decorreram em 2017).

A realização destes trabalhos de correção de fundo em períodos curtos de 5 em 5 anos, ao não permitir grandes acumulações da coluna sedimentar no fundo do Esteiro Sobradinho e na bacia de manobra, vão fazer com que a duração destas manutenções seja mais curta e com menores impactes no meio ambiente. Impacte negativo pouco significativo (-1), temporário (T).

A necessidade de realização de trabalhos de limpeza no fundo do parqueamento a nado, para minimizar e mitigar a retenção natural de sedimentos no interior da bacia, com uma taxa média anual da ordem dos 0.045 m/ano, propõem-se que sejam regulares e coincidentes no tempo com os trabalhos de correção de fundo. Impacte negativo pouco significativo (-1), temporário (T).

A área do parqueamento a nado contribuirá para um aumento da área molhada/húmida, com qualidade ambiental, adjacente ao Passeio Ribeirinho de Faro. Impacte positivo pouco significativo (+1), permanente (P).

5.3 FASE DE DESATIVAÇÃO

A desativação deste parqueamento a nado poderá ter como destino final a reposição das condições atualmente existentes, passando a corresponder a um domínio continental, em forma de bacia antropizada. Para o efeito ser necessário o enchimento/aterro do espaço interior do parqueamento a nado com inertes da Formação de Ludo (também de classe 1 – segundo a referida Portaria) e a estabilização do muro de contenção. Procedendo-se a todos estes trabalhos, também a seco e consequentemente livre de qualquer contaminação para o sistema lagunar.

6 IMPACTES CUMULATIVOS

O projeto de ampliação e requalificação do estaleiro naval de Nave Pegos, incluindo o parqueamento a nado e modernização das instalações da Quinta do Progresso, versa um conjunto de infraestruturas e de serviços muito específicos associados a um estaleiro naval, não havendo outros estaleiros de carácter similar com as infraestruturas e serviços equivalentes na envolvente, não sendo possível desta forma a comparação e correlação dos seus impactes com outros.

Porém, e no que diz respeito ao descritor da hidrodinâmica e do regime sedimentar deste projeto, a análise dos impactes negativos cumulados, permitiu identificar que durante a fase de exploração do parqueamento a nado, na zona de sombra hidrodinâmica deste, a taxa média anual de sedimentação pode ser ligeiramente superior à calculada para o Esteiro Sobradinho (Impacte -1). Por forma a mitigar o comportamento natural de retenção de matéria particulada neste setor distal lagunar, caracterizado por uma taxa média anual de sedimentação da ordem dos 0.045 m/ano, propõem-se a realização de manutenção de cotas batimétricas com uma periodicidade de 5 em 5 anos (impacte -2), bem como trabalhos de limpeza do fundo do parqueamento a nado (impacte -1) e com a mesma periodicidade (impacte -1), perfazendo um somatório total de impactes negativos de -6.

Realçam-se como impacte indiferente (impacte 0) o propósito da comporta móvel corredeira que tem por principal finalidade permitir a entrada e saída de embarcações à vela do parqueamento a nado e o respetivo resguardo e parqueamento em ambiente aquático.

Nos impactes positivos realça-se, a função dos sistemas de troca de água no parqueamento que permitirá assegurar a ocorrência de balanços de massas de água equilibrados entre o parqueamento e o sistema lagunar salvaguardando os mesmos tempos de residência (impacte +3), bem como salvaguardar a ocorrência de taxas de sedimentação médias anuais muito semelhantes às naturais na maior parte da bacia (impacte +3), reunindo condições ambientais que em conjunto irão contribuir para o bom estado químico e físico da água, e para o estado ecológico no parqueamento. Desta forma será possível assegurar ambientes físico-químicos e ecossistemas lagunares no interior do parqueamento a nado saudáveis e sustentáveis (impacte +3). Também permitirá a produção hidroelétrica com base nos gradientes longitudinais de pressão barotrópicos gerados no sistema renovação passivo de troca de água, permitindo ao Estaleiro de Nave Pegos ser autossustentável do ponto de vista energético (impacte +3). No caso de ocorrer um evento de afetação ambiental no interior do parqueamento, a solução construtiva adotada de troca de água no parqueamento também permitirá controlar atempadamente e implementar medidas de mitigação ambiental em ambiente fechado, sem que contamine o ambiente lagunar adjacente (impacte +3). A

área do estacionamento a nado contribuirá para um aumento da área molhada/húmida, com qualidade ambiental, adjacente ao Passeio Ribeirinho de Faro. Impacte positivo pouco significativo (+1), permanente (P). O somatório dos impactes positivos perfaz um total de +16.

7 MEDIDAS DE MINIMIZAÇÃO

Foram identificados no item 5 impactes negativos, nas fases de construção, exploração e desativação deste projeto de ampliação e requalificação do estaleiro naval de Nave Pegos, passando-se agora a propor medidas de mitigação, por forma a minimizá-los ou a anulá-los.

7.1 FASE DE CONSTRUÇÃO

Na fase de construção deste projeto, foi identificado o impacte negativo correspondente à retenção de água pluvial na bacia artificial que está a ser escavada a seco, aquando de eventos pluviométricos locais. Por forma a anular este impacte (impacte indiferente 0) propõe-se a sua bombagem para o sistema lagunar adjacente, uma vez que os inertes a ser removidos daquela bacia são desprovidos de qualquer contaminação (Classe 1 da Portaria 1450/2007, de 12 de novembro), não contaminando também aquela água pluvial.

7.2 FASE DE EXPLORAÇÃO

Na fase de construção do estacionamento a nado foi identificado um Impacte negativo pouco significativo relativo ao ligeiro incremento da taxa de sedimentação média anual natural da matéria particulada lutítica na zona de sombra hidrodinâmica no interior do estacionamento a nado, localizado conforme Plano Geral do EIA, páginas 17 a 22. Tendo por objetivo anula-lo (convertendo-o num impacte ambiental indiferente) é proposta como medida de mitigação a realização de trabalhos de limpeza com uma periodicidade de 5 em 5 anos.

Uma vez que este setor distal lagunar se comporta como uma armadilha natural de matéria particulada transportada fundamentalmente em regime de suspensão, com uma taxa média anual de sedimentação da ordem dos 0.045 m/ano, quantificando-se como um impacte negativo significativo e permanente. Desta forma, propõem-se a realização de trabalhos de correção do fundo do canal periódicos (há semelhança do realizado em 2017), por forma manter as cotas batimétricas no Esteiro Sobradinho e na bacia de manobra, e desta forma assegurar o acesso em segurança de embarcações à vela para o estacionamento. Tendo por finalidade a realização de campanhas de manutenção curtas, propõem-se a sua realização com uma periodicidade de 5 em 5 anos.

7.3 FASE DE DESATIVAÇÃO

Na fase de desativação do parqueamento a nado não foram identificados impactes negativos, e desta forma não foi necessário fazer propostas de medidas de mitigação, por forma a minimizá-los ou a anulá-los.

8

PLANO DE MONITORIZAÇÃO E GESTÃO

No âmbito deste projeto de ampliação e requalificação do estaleiro naval de Nave Pegos, propõe-se um plano de monitorização e gestão global e integrativo de quatro descritores, por forma a controlar e monitorizar, quer a qualidade ambiental do sistema, quer uma eventual afetação ambiental que possa surgir no interior do parqueamento a nado. Este plano integrador, abrange os descritores: III.7 Geologia, geomorfologia e recursos minerais; III.8 Recursos hídricos subterrâneos e superficiais; III.9 Hidrodinâmica e regime sedimentar e III.10 Ecologia.

O programa/plano global de monitorização de águas de superfície foi estabelecido por forma a permitir a classificação do estado ecológico, do potencial ecológico e do estado químico da água no parqueamento a nado, de acordo com Diretiva Quadro da Água (DL 58 de 2005) para águas de transição. As frequências de amostragem deste plano foram estabelecidas tendo por base a obtenção de resultados/dados de acordo com um nível aceitável de confiança e precisão, mas também com o propósito de fornecer informação necessária para a análise de fatores como, a variabilidade dos parâmetros em condições naturais ou alteradas, e a variabilidade sazonal dos mesmos. Também garantem que os resultados da monitorização refletem as alterações ambientais provocadas pela atividade antrópica.

Começa-se numa primeira fase, por descrever de uma forma global todo o plano/programa de monitorização ambiental proposto, com uma descrição e justificação, e por fim, o seu enquadramento num plano de gestão ambiental. Em cada descritor, o respetivo plano de monitorização e de gestão ambiental é enquadrado no plano global para que a respetiva parte, se possa compreender.

O plano geral de monitorização de parâmetros ambientais global, divide-se na aquisição e monitorização de séries dados em duas escalas temporais distintas, e conseqüentemente num número de parâmetros e num tipo de resolução analítica dos mesmos:

8.a) aquisição de séries de dados *in situ*, contínua, de longa duração, envolvendo um menor número de parâmetros, recorrendo a sonda multi-paramétrica: Com esta abordagem, pretende-se

monitorizar as variações horárias, de vários parâmetros físico-químicos da água em circulação no parqueamento a nado (nomeadamente: a variação da superfície livre (variação da pressão), a temperatura, a salinidade, o pH, o Eh e o oxigénio dissolvido), medidos por uma sonda multi-paramétrica a ser instalada numa zona de sombra hidrodinâmica e com maior tempo de residência no parqueamento. Com este tipo de monitorização ambiental, pretende-se obter registos contínuos *in situ* e em tempo real, daqueles parâmetros, por forma a monitorizar a qualidade ambiental ao longo do tempo e de ser possível identificar em tempo real uma eventual afetação ambiental no parqueamento a nado, e conseguir intervir atempadamente com medidas de mitigação. Em parceria com a Universidade do Algarve, pretende-se desenvolver um protótipo da sonda multi-paramétrica que numa fase inicial será testado e aperfeiçoado no Esteiro Sobradinho, durante a fase de construção (de obra). Tempo este necessário e suficiente para efetuar ajustes e correções técnicas na sonda, bem como para efetuar testes *in situ* de precisão e de erros cometidos nas leituras dos vários parâmetros, determinar períodos de manutenção, por forma a validar o seu desempenho nas condições ambientais adversas no sistema lagunar. Esta informação ambiental permitirá monitorizar em tempo real os descritores: III.8 Recursos hídricos, III.9 Hidrodinâmica e III.10 Ecologia.

8.b) medições pontuais de um grande número de parâmetros ambientais, recorrendo a análises laboratoriais: Com esta abordagem, pretende-se monitorizar as águas de superfície à escala da fase da maré, e de um determinado período do ano, múltiplos parâmetros enquadrados na Diretiva Quadro da Água para águas de transição. Pretende-se colher amostras e proceder às respetivas análises laboratoriais, com uma periodicidade anual, durante a época estival, em períodos em que a massa de água lagunar apresentar temperaturas mais elevadas, e de preferência em dias nublados. Esta informação ambiental permitirá monitorizar a variação anual de todos os quatro descritores, nomeadamente: III.7 Geologia, III.8 Recursos hídricos, III.9 Hidrodinâmica e III.10 Ecologia.

- colheita de amostras de água (8.b1), dentro e fora do parqueamento a nado, na fase da preia-mar para realizar análises laboratoriais no âmbito da qualidade ecológica da água, de poluentes emergentes e de substâncias prioritárias no âmbito da Diretiva Quadro Comunitária da Água para águas de transição, nomeadamente: Nitratos, Nitritos, Amonia, Azoto total, Fosfatos, Fosforo total, SST, SSV, COT, clorofila; Metais pesados; Óleos e gorduras, óleos minerais, detergentes aniónicos; PAHs, HCB, PCBs; e indicadores da qualidade de contaminação fecal, recorrendo à análise laboratorial dos mesmos. Esta informação ambiental permitirá monitorizar a variação anual dos descritores: III.8 Recursos hídricos, III.9 Hidrodinâmica e III.10 Ecologia.

- colheita de amostras de sedimento (8.b2) nas zonas de sombra hidrodinâmica do parqueamento, recorrendo ao mergulho científico, por forma a avaliar e quantificar *in situ*: 8.b2c) medição das taxas de sedimentação médias anuais dos sedimentos lutíticos, 8.b2d) amostragem destes sedimentos para análise laboratorial de acordo com a da Portaria 1450/2007, de 12 de novembro (nomeadamente os parâmetros: sedimentares-texturais, parâmetros físicos, parâmetros inorgânicos

não metálicos, metais totais, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, PCBs, e pesticidas organocloratos). Esta informação ambiental permitirá monitorizar a variação anual dos descritores: III.7 Geologia, III.8 Recursos hídricos, III.9 Hidrodinâmica e III.10 Ecologia.

A análise diária, permanente por parte dos promotores deste projeto, quer da informação referente ao plano de monitorização ambiental (informação 8.a), quer da observação *in situ* diária de aspetos físicos, metodológicos, estruturais, sedimentológicos ou biológicos referentes ao parqueamento, podem identificar em tempo real uma ocorrência de uma afetação ambiental, e agir atempadamente e em conformidade com medidas de mitigação.

O funcionamento dos dois sistemas responsáveis pela troca de água no parqueamento a nado: o de escoamento/enchimento autónomo (comporta móvel) e o de renovação passivo, encontra-se descrito na Memória Descritiva de Arquitetura e nos Projetos das Especialidades de Estabilidade e de Instalações eletromecânicas. Porém, esta solução construtiva adotada com a implantação destes dois sistemas de troca de água, autónomos, para o plano de gestão ambiental, permitirá ao parqueamento não só salvaguardar uma troca equilibrada de volumes de água com o sistema lagunar, garantindo os mesmos tempos de residência, como também salvaguardar taxas de sedimentação médias anuais muito semelhantes às do Esteiro Sobradinho. Consequentemente também permite assegurar ambientes e ecossistemas lagunares no interior do parqueamento, saudáveis e sustentáveis. Também, e no caso de ocorrer um evento de afetação ambiental, aqueles dois sistemas permitem em conjunto, isolar o parqueamento a nado do sistema lagunar adjacente, e evitar que essa afetação ambiental não contamine o sistema lagunar natural adjacente, bem como permitem que em segurança e sob um ambiente controlado no parqueamento a nado totalmente isolado do meio exterior, que se intervenha de forma eficiente com medidas de mitigação. Numa situação extrema em que ocorra uma emergência ambiental resultante de uma ação negligente por parte de um utente, gerando um derrame de um poluente ou de um contaminante para o parqueamento, permitir fechar os sistemas de trocas de águas com o meio lagunar, e desta forma salvaguardar a integridade ambiental dos esteiros Sobradinho e Nogueira, dando tempo para serem implementadas as medidas de mitigação no interior do parqueamento em segurança e ambiente controlado.

9

CONCLUSÕES

Toda a área lagunar envolvente ao parqueamento a nado apresenta uma hidrodinâmica fundamentalmente dominada pelos regimes de maré, do tipo semidiurno, definido por amplitudes máximas que poderão ser da ordem dos 3.5 m nas marés maiores do ano. O seu hidrodinamismo mareal encontra-se fundamentalmente regulado por gradientes barotrópicos longitudinais de

pressão pequenos, inferiores a 0.0015 m/km, responsáveis por gerar velocidades de corrente máximas segundo as componentes longitudinais: da ordem dos $\leq +0.3$ m/s na fase da enchente, e da ordem dos ≥ -0.15 m/s na fase da vazante. Apresenta um regime muito bem misturado, definido por gradientes baroclínicos verticais da ordem dos $\Delta Sz \leq 0.005$ ‰/m) e por gradientes baroclínicos longitudinais muito pequenos, da ordem dos $\Delta Sx \approx 1$ ‰/1000m. A onda de maré apresenta uma dissipação de energia com uma magnitude da ordem dos 15.86 W/m² e com magnitudes da ordem dos 0.004 W/m² para M2 e de 0.007 W/m² para M2/M4. A dissipação de energia da onda de maré entre Quatro Águas e Nave Pegos é da ordem dos 6.7 W/m². Em Nave Pegos os caudais e os volumes residuais são de domínio da enchente, com magnitudes médias da ordem dos $-1.1E+07$ m³. É definida por tempos de residência da ordem dos 1.0 dias. Este estudo hidrodinâmico e do regime sedimentar foi fundamentado num trabalho de modelação (recorrendo à análise harmónica) das constituintes semidiurnas (que explicam 84%) da propagação energia da maré tendo por base séries de dados temporais, locais, recolhidos *in situ*, representativas das condições hidrodinâmicas mareais, em 6 estações no sistema lagunar. Este estudo foi publicado sob a forma de um capítulo de um capítulo de livro com arbitragem científica Duarte *et al.* (2019) publicado no âmbito do congresso internacional INCREaSE2019 e parte num âmbito de uma tese de mestrado defendida na Universidade do Algarve (Della, 2013). Considerou-se um valor limite de sobre-elevação do nível médio da superfície livre da água ≤ 0.70 m, para os próximos 50 anos, relacionado com tempestades (efeito máximo conjugado: da pressão atmosférica, do efeito do vento e da agitação da superfície da água lagunar - *storm surge*).

Toda a área lagunar envolvente comporta-se como uma armadilha natural de sedimentos finos e de matéria particulada, transportados fundamentalmente em regime de suspensão pelas águas do sistema lagunar, com taxas médias de sedimentação anuais da ordem dos 0.045 m/ano.

Se este projeto da construção do parqueamento a nado de Nave Pegos se não se vier a concretizar, a exposição da atual bacia antropizada seca, antropizada (correspondente à antiga salina) aos agentes de meteorização externa e ao hidrodinamismo dos esteiros Sobradinho e Nogueira, vai passar a comportar-se como um espelho de água doce, de origem pluvial, parada, desprovida de renovação e de circulação espacial, inicialmente sem qualquer conexão direta com o ambiente lagunar. Esta tenderá a adquirir tempos de residência muito elevados, que levam à sua degradação do ponto de vista químico, ambiental e biológico. Tenderá também a aumentar a sua energia potencial com os eventos pluviométricos sucessivos. Processos de erosão serão responsáveis pela rutura do muro de retenção deste reservatório, e levar à sua rutura, num ou mais pontos. Desta forma, convertendo-se num sistema semi-fechado de água salobra, ligando ao sistema lagunar por intermédio da(s) abertura(s) no muro de contenção. Este sistema passará a apresentar trocas de água de uma forma assimétrica e desequilibrada com o ambiente lagunar, promovendo o aumento de uma forma considerável o tempo de residência da água salobra no interior deste reservatório artificial, confinado. Traduzir-se-á por uma maior capacidade de retenção: da água, de sedimentos,

de matéria orgânica e de nutrientes no interior do espelho de água artificial, e consequentemente num decréscimo da qualidade química, ambiental e estado ecológica do mesmo.

Com a exploração do parqueamento a nado, os dois sistemas de escoamento/enchimento autónomo e de renovação passivos de troca de água do parqueamento a nado, para além de salvaguardar os mesmos tempos de residência da água (nos dois reservatórios, artificial e lagunar), irá também salvaguardar balanços sedimentares equilibrados, com taxas de sedimentação médias anuais de partículas lutíticas ordem dos 4-5 cm/ano (estando em sintonia com a tendência natural de assoreamento deste setor lagunar distal). Este fenómeno natural envolve a necessidade de realização periódica de trabalhos de manutenção de cotas batimétricas no Esteiro Sobradinho e na bacia de manobra, com uma periodicidade média de 5 em 5 anos. Implica também a realização de trabalhos de limpeza dos sedimentos lutíticos do fundo no interior do parqueamento, principalmente na zona de sombra hidrodinâmica. Numa situação de emergência ambiental, aqueles sistemas troca de água no parqueamento a nado (comporta móvel e sistema passivo), também vai permitir isolar o parqueamento a nado do sistema lagunar e desta forma salvaguardar a integridade ambiental dos esteiros Sobradinho e Nogueira. Permitem em segurança e sob um ambiente controlado no parqueamento a nado totalmente isolado do meio exterior, que se intervenha de forma eficiente, implementando medidas de mitigação ambiental.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bricker, J. D., Inagaki S., Monismith, S.G. (2005) Bed Drag Coefficient Variability under Wind Waves in a Tidal Estuary. *Journal Hydraulic Engineering*, 131, 497-508.
- Davis, R.A. and FitzGerald, D.M. (2004) *Beaches and Coasts*. Blackwell Publishing. ISBN: 0-632-04308-3.
- Della Permata (2013) Water circulation pattern in the main channels of Ria Formosa based on tidal analysis. Master Thesis in Ecohydrology, University of Algarve. Supervisors: Duarte, Duarte UAIG and Roelvink, Dano (IHE). URL: <http://hdl.handle.net/10400.1/3559>
- Dias, J. M., and Sousa, M. C. (2009a) Numerical modeling of Ria Formosa tidal dynamics." *Journal Coastal Research*, SI 56 (Proceeding of the 10th International Coastal Symposium), 1345-1349. Lisbon, Portugal, ISBN 0749-0258.

- Dias, J. M., M. C. Sousa, X. Bertin, A.B. Fortunato, A. Oliveira (2009b) Numerical modeling of the impact of the Ancão Inlet relocation (Ria Formosa, Portugal). *Environmental Modelling and Software*, 24(6), 711-725.
- Duarte, P., B. Azevedo, M. Guerreiro, C. Ribeiro, R. Bandeira, A. Pereira, M. Falca, D. Serpa, J. Reia (2008) Biogeochemical modelling of Ria Formosa (South Portugal). *Hydrobiologia*, 611(1), 115-132.
- Duarte N.R.D., Della P., Manuela Moreira da Silva, Tiago M.P., Dores, Margarida C.N. Alves, Francisco A.B. Fernandes, Miguel P. dos Santos and Luís Chícharo (2019) Ria Formosa Hydrodynamics and the Best Location for Shellfish Beds. *Book of Proceedings of the 2nd International Congress on Engineering and Sustainability in the XXI Century - INCREaSE 2019*. pp 701-717, ed Springer, Cham Switzerland: Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-030-30938-1_54. ISBN: 978-3-030-30938-1.
- Dyer, K.R. (1997) *Estuaries. A Physical Introduction*. John Wiley & Sons Ltd., 2nd edition.
- Fortunato, A.B., Baptista, A.B. and Luettich Jr, A. (1997) A three-dimensional model of tidal currents in the mouth of the Tagus estuary. *Continental Shelf Research*. Volume 17, Issue 14, Pages 1689-1714.
- Foreman, M. G. G. & Henry, R. F. (1989) The harmonic analysis of tidal time series. *Adv. Water Resources*, 12,109-120.
- Luketina, D. (1998) Simple tidal prism models revisited. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Volume 46, Issue 1, January 1998, Pages 77-84. <https://doi.org/10.1006/ecss.1997.0235>
- Moore, W. S., J. O. Blanton, and S. B. Joye. (2006) Estimates of Flushing times, Submarine groundwater discharge, and Nutrient fluxes to Okatee estuary, South Carolina. *Journal of Geophysical Research*, 111, CO9006, DOI 10.1029/2005 JC003041.
- Open University (2000) *Waves, Tides and Shallow-Water Processes*, Second Edition. United Kingdom: Butterworth-Heinemann publication. ISBN:10 0750642815.
- Pugh, D. (1987) *Tides, Surges and Mean Sea Level: A Handbook for Engineers and Scientists*. John Wiley & Sons, Chichester, 472 p.
- Wang C. F., M. H. Hsu, A. Y. Kuo. (2004) Residence time of the Danshuei River estuary, Taiwan. *Estuarine, Coastal, and Shelf Science*, 60, 381-393.

Soulsby, R. (1997) Dynamic of Marine Sands - A manual for practical applications. Oxford, Great Britain: Thomas Telford Publications, Thomas Telford Services Ltd. ISBN: 0 7277 2584 X.

Wolanski E. (2007) Estuarine Ecohydrology. Elsevier, 1st Edition. ISBN: 9780080550350.

TPF – Consultores de Engenharia e Arquitetura AS (2019). Projeto dos Lagos e infra-estruturas da Cidade lacustre / Vilamoura Lakes. Estudo base. Níveis de Água do Mar e inundações da Área de Projecto – Nota Técnica. 31 – 16 IPP8 1-GR-SK E 002 R00. Vilamoura Lusotur, S.A., Vilamoura, IFricope. 45p.

LNEC (2019). Procedimento de Avaliação de Impacte Ambiental do Projeto do Loteamento da Cidade Lacustre, em Vilamoura. Componente geológica-geotécnica. Relatório 37/2019 – DG/NGEA. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Confidencial. Comissão de coordenação e Desenvolvimento Regional do Algarve.

11 ANEXOS

Anexo I – Planta de Localização

Anexo II – Plano Geral