

João Carlos Silveira Tristão da Cunha

**Contribuição da barra da Armona para as trocas de matéria entre o  
setor oeste da Ria Formosa e o Oceano**



**Universidade do Algarve**

Faculdade de Ciências e Tecnologia

2019

João Carlos Silveira Tristão da Cunha

**Contribuição da barra da Armona para as trocas de matéria entre o  
setor oeste da Ria Formosa e o Oceano**

**Mestrado em Sistemas Marinhos e Costeiros**

**Trabalho sob a orientação de:**

Professora Doutora Alexandra Cravo

(Professora Auxiliar, Universidade do Algarve)

Professor Doutor José Jacob

(Professor Auxiliar, Universidade do Algarve)



**Universidade do Algarve**

Faculdade de Ciências e Tecnologia

2019

**Contribuição da barra da Armona para as trocas de matéria entre o  
setor oeste da Ria Formosa e o Oceano**

Declaração de autoria do trabalho

Declaro ser autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

Faro, 30 de setembro de 2019

João Carlos Cunha

João Carlos Cunha

Copyright © 2019 João Carlos Silveira Tristão da Cunha

A Universidade do Algarve reserva para si o direito, em conformidade com o disposto no Código do Direito de Autor e dos Direitos Conexos, de arquivar, reproduzir e publicar a obra, independentemente do meio utilizado, bem como de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição para fins meramente educacionais ou de investigação e não comerciais, conquanto seja dado o devido crédito ao autor e editor respetivos.

## ***Agradecimentos***

*À professora Doutora Alexandra Cravo orientadora científica desta dissertação, obrigado pelos conhecimentos transmitidos, pela oportunidade de elaborar este trabalho, pela sua permanentemente disponibilidade, bem como o apoio dado ao longo de todo o meu percurso académico.*

*Ao professor Doutor José Jacob orientador científico desta dissertação e coordenador do projeto COALA pelo fornecimento dos dados para esta dissertação, pelos conhecimentos transmitidos e por estar sempre disponível a ajudar.*

*Aos meus pais e à minha irmã pelo apoio e por me permitirem chegar aqui.*

*A toda a minha família e amigos pelo apoio dado.*

*Aos meus padrinhos universitários André Matos e Cátia Correia pela sua disponibilidade e amizade desde sempre.*

*To my colleges of MACS for the friendship, a big thanks to the shitty team. Best regards to all...Jeff*

*Ao Miguel por partilhar este sofrimento comigo.*

## **Resumo**

Este trabalho pretendeu estudar a variabilidade das características físicas e químicas da água na barra da Armona, uma das mais importantes na circulação do setor oeste da Ria Formosa, e avaliar a sua contribuição para a troca de matéria (água, nutrientes, clorofila *a* e sólidos em suspensão) com o oceano adjacente. Realizaram-se quatro campanhas de amostragem durante ciclos de maré completos nas duas estações do ano mais produtivas, outono e primavera, em maré viva e maré morta. Os resultados mostram que as características da água não dependem somente da altura da maré, das estações do ano e de processos internos de interação sedimento-água e biológicos, mas também de processos externos como afloramento costeiro, que foi particularmente evidente na primavera, com reflexo notório na concentração dos nutrientes e clorofila *a*. A variabilidade das características da água foi maior em maré viva, pelo maior volume de água trocado. Os valores dos parâmetros analisados foram semelhantes aos das outras barras do setor oeste, pois as três barras estão em permanente ligação com o oceano adjacente, notando-se uma melhoria na qualidade da água desde os anos 80. Comparativamente com outros sistemas lagunares, onde a pressão antropogénica é maior e/ou a renovação menor, a qualidade da água da Ria Formosa é superior. Quanto ao transporte de matéria, como seria de esperar, as trocas foram maiores nas marés vivas de que nas marés mortas. O transporte dos parâmetros analisados nem sempre seguiu o sentido da água, revelando que estes balanços de matéria variam temporal e espacialmente. A barra da Armona contribuiu com *ca.* 30%-40% para o total das trocas de matéria nas três barras do setor oeste, tendo um papel importante na importação, particularmente durante eventos de afloramento costeiro, que aumentam a produtividade da Ria Formosa, mas também na exportação de compostos, particularmente amónia e sólidos orgânicos que fertilizam o oceano adjacente.

**Palavras – chave:** Sistemas lagunares, Ria Formosa, barras, nutrientes, clorofila *a*, transportes

## ***Abstract***

This work aimed to study the variability of physical and chemical characteristics of the water in Armona inlet, one of the most important inlets in the circulation of the western sector of Ria Formosa, and to evaluate its contribution to the exchange of matter (water, nutrients, chlorophyll *a* and suspended solids) with the adjacent ocean. Four sampling campaigns were conducted during complete tidal cycles in the two most productive seasons, autumn and spring, at spring tide and at neap tide. The results show that water characteristics depend not only on tidal height, seasons and internal coupling sediment-water and biological processes, but also on external processes such as upwelling, which was particularly evident in spring, with noticeable reflex on the concentration of nutrients and chlorophyll *a*. The variability of water characteristics was higher at spring tide due to the higher volume of water exchanged. The values of the analyzed parameters were similar to those of the other west sector inlets, since the three inlets are in permanent connection with the adjacent ocean, noticing an improvement in water quality since the 80's. Compared to other lagoon systems, where the anthropogenic pressure is higher and/or renewal lower, the water quality of Ria Formosa is higher. Concerning the transport of matter, as might be expected, exchanges were higher in the spring tides than in the neap tides. The transport of the analyzed parameters did not always follow the water direction, revealing that these matter balances vary temporally and spatially. Armona's inlet contributed approximately 30-40% of the total of material exchange in the three western inlets, playing an important role in importation, particularly during upwelling events, which increase Ria Formosa's productivity, but also in the exportation of compounds, particularly ammonium and organic solids that fertilize the adjacent ocean.

**Keywords:** Lagoons systems, Ria Formosa, inlets, nutrients, chlorophyll *a*, transports

## *Índice*

<i>Agradecimentos</i> .....	v
<i>Resumo</i> .....	vi
<i>Abstract</i> .....	vii
<i>Índice</i> .....	viii
<i>Índice de Figuras</i> .....	x
<i>Índice de Tabelas</i> .....	xii
<i>Lista de Abreviaturas</i> .....	xiv
Capítulo 1 - Introdução .....	1
1.1. Aspectos físicos dos sistemas lagunares.....	1
1.2. Classificação dos Sistemas Lagunares.....	2
1.3. Valor dos sistemas lagunares .....	3
1.4. As lagoas costeiras e a sua vulnerabilidade às alterações climáticas.....	4
1.5. Distribuição geográfica das lagoas costeiras. ....	5
1.6. Ria Formosa.....	5
1.7. Objetivos .....	7
Capítulo 2 - Material e Métodos .....	9
2.1. Área de estudo .....	9
2.2. Amostragem.....	10
2.3. Análises Laboratoriais .....	11
2.4. Cálculo dos Prismas e Transportes .....	14
2.5. Análise de imagens de satélite .....	14
2.6. Análise estatística .....	15
Capítulo 3 - Resultados .....	16
3.1. Caracterização Oceanográfica das campanhas .....	16
3.2. Variabilidade mareal dos parâmetros.....	20



3.3. Comparação entre condições de maré e entre estações do ano.....	21
3.4. Correlação entre variáveis em maré viva e maré morta nas campanhas de outono e primavera .....	33
3.5. Cálculo dos prismas de maré e transporte de massa de clorofila <i>a</i> , nutrientes, e sólidos em suspensão.....	36
Capítulo 4 - Discussão .....	39
4.1. Influência das condições meteorológicas e dos mecanismos forçadores na variabilidade das características da água.....	39
4.2. Variabilidade da qualidade da água na barra de Armona, em maré viva e maré morta, em condições de outono (2011) e primavera (2012).....	40
4.3. Comparação com outros estudos .....	43
4.3.1. Comparação da qualidade da água com outros estudos na Ria Formosa.....	43
4.3.2 Comparação da Ria Formosa com outros sistemas lagunares.....	44
4.3.3 Comparação contemporânea de transportes de matéria entre o oceano e a barra da Armona com as outras barras do setor oeste da Ria Formosa .....	46
Capítulo 5 - Conclusão.....	54
Referências Bibliográficas.....	56

## *Índice de Figuras*

<b>Figura 1.1</b> – Tipos de lagoas costeiras existentes. Fonte: Kjerfve e Magill, 1989.....	2
<b>Figura 1.2</b> – Localização geográfica de 34 lagoas costeiras incluídas na base de dados NERC GloboLakes. <b>Fonte:</b> (Politi e Groom, 2017). .....	5
<b>Figura 1.3-</b> Localização da Ria Formosa, das várias barras e dos dois PT's fundeados durante o projeto COALA, assinalados com estrelas amarelas. Aquisição da imagem a partir de J. F. Luis. Mirone: A multi-purpose tool for exploring grid data. Computers & Geosciences, 33, 31-41, 2007.....	6
<b>Figura 2.1</b> - Imagem representativa da barra da Armona, local de estudo; o transecto de amostragem está representado a amarelo. Fonte: BING processado a partir da ferramenta MIRONE (Luis, 2007).....	9
<b>Figura 3.1</b> - Direção do vento, temperatura da água e nível do mar, para a campanha de outono. Quadrado vermelhos relativos à altura da campanha. A azul dados recolhidos no cais commercial de Faro e a verde na barra de Faro-Olhão. ....	16
<b>Figura 3.2</b> - Direção do vento, temperatura da água e nível do mar, para a campanha de primavera. Quadrado vermelhos relativos à altura da campanha. A azul dados recolhidos no cais commercial de Faro e a verde na barra de Faro-Olhão. ....	17
<b>Figura 3.3</b> – Imagens compostas de 8 dias da temperatura na superfície do oceano. Campanha de outono A), B) C) e D) e campanha de primavera E), F) e G). A) 2 semanas anterior ao dia da campanha 23/11/11. B) semana anterior a 23/11/11. C) 2 semana anteriores a 06/12/11. D) semana anterior a 06/12/11. E) 2 semanas anteriores à campanha 21/03/12. F) semana anterior a 21/03/12 e 2 semanas anteriores a 29/03/12. G) semana anterior a 29/03/12. Fonte: OceanColor, NASA. ....	18
<b>Figura 3.4</b> - Imagens compostas de 8 dias da concentração de clorofila <i>a</i> na superfície. Campanha de outono A), B) C) e D) e campanha de primavera E), F) e G). A) 2 semanas anteriores ao dia da campanha 23/11/11. B) semana anterior a 23/11/11. C) 2 semana anteriores a 06/12/11. D) semana anterior a 06/12/11. E) 2 semanas anteriores à campanha 21/03/12. F) semana anterior a 21/03/12 e 2 semanas anteriores a 29/03/12. G) semana anterior a 29/03/12. Fonte: OceanColor, NASA .....	19
<b>Figura 3.5</b> - Variabilidade sazonal da temperatura (outono, a azul, e primavera, a amarelo) durante as condições de maré viva (A e C) e maré morta (B e D), na Barra da Armona. ....	21

<b>Figura 3.6</b> - Variabilidade sazonal da salinidade (outono, a azul, e primavera, a amarelo) durante as condições de maré viva (A e C) e maré morta (B e D), na Barra da Armona. ....	22
<b>Figura 3.7</b> - Variabilidade sazonal do pH (outono, a azul, e primavera, a amarelo) durante as condições de maré viva (A e C) e maré morta (B e D), na Barra da Armona.....	23
<b>Figura 3.8</b> - Variabilidade sazonal do oxigénio dissolvido (O <sub>2</sub> mg/L) (outono, a azul, e primavera, a amarelo) durante as condições de maré viva (A e C) e maré morta (B e D), na Barra da Armona.....	24
<b>Figura 3.9</b> - Variabilidade sazonal do oxigénio saturado (outono, a azul, e primavera, a amarelo) durante as condições de maré viva (A e C) e maré morta (B e D) na Barra da Armona. ....	25
<b>Figura 3.10</b> – Variabilidade sazonal da clorofila <i>a</i> (outono, a azul, e primavera, a amarelo) durante as condições de maré viva (A e C) e maré morta (B e D) na Barra da Armona. ....	26
<b>Figura 3.11</b> - Variabilidade sazonal dos sólidos em suspensão totais (outono, a azul, e primavera, a amarelo) durante as condições de maré viva (A e C) e maré morta (B e D) na Barra da Armona.....	27
<b>Figura 3.12</b> - Variabilidade sazonal da percentagem de sólidos em suspensão orgânicos (círculos) e inorgânicos (triângulos) (outono, a azul, e primavera, a amarelo) durante as condições de maré viva (A e C) e maré morta (B e D), na Barra da Armona. ....	28
<b>Figura 3.13</b> - Variabilidade sazonal da amónia (outono, a azul, e primavera, a amarelo) durante as condições de maré viva (A e C) e maré morta (B e D), na Barra da Armona. ....	29
<b>Figura 3.14</b> - Variabilidade sazonal dos nitritos (µM) (outono, a azul, e primavera, a amarelo) durante as condições de maré viva (A e C) e maré morta (B e D), na Barra da Armona. ....	30
<b>Figura 3.15</b> - Variabilidade sazonal dos nitratos (outono, a azul, e primavera, a amarelo) durante as condições de maré viva (A e C) e maré morta (B e D), na Barra da Armona. ....	31
<b>Figura 3.16</b> - Variabilidade sazonal dos fosfatos (outono, a azul, e primavera, a amarelo) durante as condições de maré viva (A e C) e maré morta (B e D), na Barra da Armona. ....	32

<b>Figura 3.17</b> - Variabilidade sazonal dos silicatos (outono, a azul, e primavera, a amarelo) durante as condições de maré viva (A e C) e maré morta (B e D), na Barra da Armona. ....	33
--	----

**Índice de Tabelas**

<b>Tabela 3.1</b> - Correlações significativas entre os parâmetros de temperatura, salinidade, pH, oxigénio dissolvido, sólidos em suspensão, clorofila <i>a</i> , fosfatos, silicatos, amónia, nitritos e nitratos, para a maré morta de outono. ....	34
<b>Tabela 3.2</b> - Correlações significativas entre os parâmetros de temperatura, salinidade, pH, oxigénio dissolvido, sólidos em suspensão, clorofila <i>a</i> , fosfatos, silicatos, amónia, nitritos e nitratos, para a maré viva de outono.....	35
<b>Tabela 3.3</b> - Correlações significativas entre os parâmetros de temperatura, salinidade, pH, oxigénio dissolvido, sólidos em suspensão, clorofila <i>a</i> , fosfatos, silicatos, amónia, nitritos e nitratos, para a maré morta de primavera. ....	35
<b>Tabela 3.4</b> - Correlações significativas entre os parâmetros de temperatura, salinidade, pH, oxigénio dissolvido, sólidos em suspensão, clorofila <i>a</i> , fosfatos, silicatos, amónia, nitritos e nitratos, para a maré viva de primavera.....	36
<b>Tabela 3.3.5</b> – Prisma de maré de enchente, vazante e residual (m <sup>3</sup> ) e transportes de enchente, de vazante e residual dos nutrientes (SiO <sub>4</sub> <sup>4-</sup> - silicatos; PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> - fosfatos; NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - nitratos; NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> - nitritos e NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - nitratos;), Sólidos em Suspensão (SS) e clorofila <i>a</i> (Chl <i>a</i> ) através da barra da Armona, durante o Outono de 2011, em situação de maré viva (23 de novembro) e maré morta (6 de dezembro).....	37
<b>Tabela 3.3.6</b> - Prisma de maré de enchente, vazante e residual (m <sup>3</sup> ) e transportes de enchente, de vazante e residual dos nutrientes (SiO <sub>4</sub> <sup>4-</sup> - silicatos; PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> - fosfatos; NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - nitratos; NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> - nitritos e NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - nitratos;), Sólidos em Suspensão (SS) e clorofila <i>a</i> (Chl <i>a</i> ) através da barra da Armona, durante o primavera de 2012, em situação de maré viva (21 de março) e maré morta (29 de março). ....	37
<b>Tabela 4.1</b> - Valores de importação e exportação de água (m <sup>3</sup> ), Clorofila <i>a</i> (kg), Sólidos em Suspensão (toneladas), Amónia, Nitratos, Fosfato e Sílica (kg) para as barras de Ancão (Ban), Faro-Olhão (BF-O) e Armona (BAr), numa situação de maré viva de outono de 2011. %BA percentagem de importação e exportação da barra de Armona em relação ao total transportado. Fonte: (Cravo <i>et al.</i> , 2014; Cravo e Jacob, 2019; Jacob e Cravo, 2019*; Rosa <i>et al.</i> , 2019(BF-O); Rosa, 2016(BF-O); Cravo, dados não publicados(°)).	49

**Tabela 4.2** - Valores de importação e exportação de água (m<sup>3</sup>), Clorofila *a* (kg), Sólidos em Suspensão (toneladas), Amónia, Nitratos, Fosfato e Sílica (kg) para as barras de Ancão (Ban), Faro-Olhão (BF-O) e Armona (BAr), numa situação de maré morta de outono de 2011. %BA percentagem de importação e exportação da barra de Armona em relação ao total transportado. Fonte: (Cravo *et al.*, 2014; Cravo e Jacob, 2019; Jacob e Cravo, 2019\*; Rosa, 2016(BF-O); Cravo, dados não publicados(°)) ..... 50

**Tabela 4.3** - Valores de importação e exportação de água (m<sup>3</sup>), Clorofila *a* (kg), Sólidos em Suspensão (toneladas), Amónia, Nitratos, Fosfato e Sílica (kg) para as barras de Ancão (Ban), Faro-Olhão (BF-O) e Armona (BAr), numa situação de maré viva de primavera de 2012. %BA percentagem de importação e exportação da barra de Armona em relação ao total transportado. Fonte: (Cravo e Jacob, 2019; Jacob e Cravo, 2019\*); ..... 51

**Tabela 4.4** - Valores de importação e exportação de água (m<sup>3</sup>), Clorofila *a* (kg), Sólidos em Suspensão (toneladas), Amónia, Nitratos, Fosfato e Sílica (kg) para as barras de Ancão (Ban), Faro-Olhão (BF-O) e Armona (BAr), numa situação de maré morta de primavera de 2012. %BA percentagem de importação e exportação da barra de Armona em relação ao total transportado. Fonte: (Cravo *et al.*, 2014; Cravo e Jacob, 2019; Jacob e Cravo, 2019\*; Rosa, 2016 (BF-O); Cravo, dados não publicados(°)) ..... 52

## *Lista de Abreviaturas*

BM – Baixa-mar

Chl *a* – Clorofila *a*

DQA – Diretiva Quadro da Água

DQEM – Diretiva Quadro Estratégia Marinha

H maré – Altura da maré

IH – Instituto Hidrográfico

INAG – Instituto da Água

N - Azoto

NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - Amónia

NO<sub>2</sub><sup>-</sup> - Nitritos

NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - Nitratos

O<sub>2</sub> - Oxigénio

P - Fósforo

PM – Preia-mar

PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> - Fosfatos

PT – Transdutor de Pressão

S - Salinidade

SiO<sub>4</sub><sup>4-</sup> - Silicatos

SS – Sólidos em Suspensão

SST – Temperatura superficial do mar

T – Temperatura

NW - Noroeste

# Capítulo 1 -Introdução

## 1.1. Aspetos físicos dos sistemas lagunares

Os sistemas lagunares são sistemas normalmente paralelos à linha de costa, mas que previamente foram originados a partir de planícies junto à linha de costa (FitzGerald, 1988). Geologicamente, podem considerar-se relativamente recentes, com cerca de 5000-7500 anos, mas são muitas vezes ambientes de curta duração devido à sua relativamente rápida taxa de sedimentação (Martin e Dominguez, 1994). Segundo alguns autores, como Bidet *et al.* (1982) e Mee (1978) o principal processo que leva à formação de sistemas lagunares são as alterações do nível médio das águas do mar, causados quer por um aumento ou um decréscimo, mas também através de vários tipos de processos sedimentares por influência de rios, maré e vento. Representam ambientes de transição continente-oceano (Kjerfve e Magill, 1989), de baixa profundidade e são normalmente semifechados. Geralmente constituem sistemas separados por algum tipo de barreira, como ilhas barreira, principalmente constituídos por cordões dunares e a água no seu interior pode ser salgada ou salobra. As barras podem ser variáveis ao longo do tempo em termos de largura e/ou posição e ligam-se com o interior através de canais principais e secundários. As barras de maré estão localizadas entre as zonas de proteção (ilhas barreira e penínsulas) e são zonas altamente importantes para rotas de navegação, fontes de sedimento para as praias adjacentes e para a troca de nutrientes do interior do sistema para o oceano adjacente (FitzGerald, 1996). São consideradas barras de maré quando o escoamento é dominado pela maré em relação ao escoamento fluvial. As barras interrompem o transporte pelas ondas ao longo da costa, afetando o transporte sedimentar. A origem, morfologia, hidrodinâmica e a estabilidade das barras é muito variável, dependentes de vários parâmetros físicos como o abastecimento de sedimentos através do transporte pelas ondas e marés, nível do mar, origem da ilha barreira do lado lagunar, origem do sedimento, ocorrência de tempestades e fatores antropogénicos (FitzGerald, 1996). As barras naturais podem ser instáveis, podendo mesmo fechar e voltar a abrir e deslocarem-se ao longo da costa destruindo-a para o lado do deslocamento e construindo atrás, mantendo o tamanho da abertura relativamente semelhante (Weinholtz, 1964).

A existência e persistência de várias barras é fundamental para a compreensão da capacidade do sistema lagunar em renovar as suas águas, para a navegação e na estabilidade das ilhas barreiras e das praias adjacentes. Nos sistemas com barras múltiplas

pode haver uma tal conexão entre barras que quando existe uma modificação numa barra pode e deve modificar a morfodinâmica de outra(s) barra(s) que se encontra(m) interligada(s) em termos hidrodinâmicos (Pacheco, 2010; Salles *et al.*, 2005).

Por serem sistemas pouco profundos são também sistemas que têm tempos de resposta curtos às correntes induzidas pelo vento, o que faz com que as correntes diminuam rapidamente devido ao atrito com o fundo, quando existe uma quebra do vento. As correntes provocadas pelas marés são previsíveis no interior do sistema (lagoa) (Smith, 1990a), mas o forçamento do vento pode ser superior às correntes de maré e até mesmo revertê-las (Smith, 1990b).

## 1.2. Classificação dos Sistemas Lagunares

As lagoas costeiras podem-se dividir em três tipos de lagoas: *choked*, *leaky* e em *restricted*, como demonstra a

Figura 1.1.

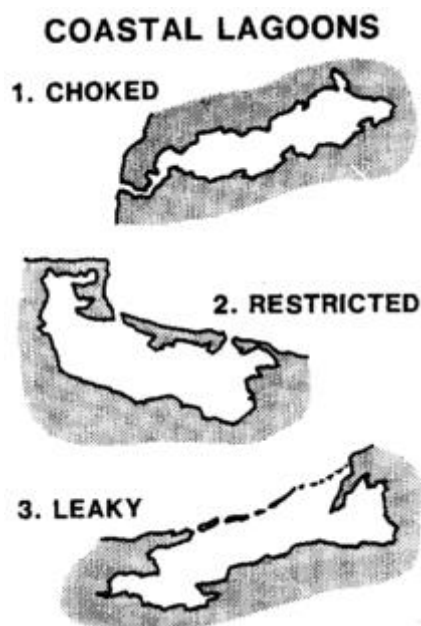


Figura 1.1 – Tipos de lagoas costeiras existentes. Fonte: Kjerfve e Magill, 1989

As lagoas *choked* são normalmente encontradas ao longo de costas com um clima de ondas bastante energético e com correntes litorais intensas. São caracterizadas por terem um ou mais canais longos e estreitos como entrada do sistema, fazendo com que as massas de água tendam a ter longos tempos de residência, sendo nestes casos o vento um importante forçador. A radiação solar acoplada com eventos de entrada de água doce



podem causar estratificação térmica e halina no sistema. As lagoas *restricted* normalmente apresentam duas ou mais entradas em forma de barras ou canais, têm uma circulação bem definida e são fortemente influenciados pelo vento e verticalmente bem misturados (Kjerfve e Magill, 1989). As lagoas *leaky* normalmente estendem-se por grandes distâncias, podendo até ter mais do que 100 km, mas poucos quilómetros de largura. São caracterizadas por terem várias entradas, fazendo com que não existam grandes restrições entre o sistema e o oceano, havendo fortes correntes de maré e a existência de frentes de salinidade e turbidez.

As correntes nos sistemas *leaky* ou *restricted* dependem fundamentalmente da maré, que varia dependendo do tipo de maré em que estes sistemas se encontram (mesotidal, macrotidal e microtidal). Nas lagoas *choked* as correntes de maré são diminutas, pois as marés podem ser de apenas 1% ou menos em relação ao oceano adjacente, devido à entrada do canal, onde drasticamente diminuem ou até mesmo eliminam as correntes de maré (Kjerfve e Magill, 1989).

### **1.3. Valor dos sistemas lagunares**

Apesar de corresponderem a cerca de 13% dos sistemas costeiros (Barnes, 1980), os sistemas lagunares são dos ambientes naturais mais produtivos em termos biológicos, com elevado valor ecológico, devido à elevada entrada de nutrientes, quer por influência continental (Conesa e Jiménez-Cárceles, 2007), quer oceânica, especialmente se no oceano adjacente ocorrer afloramento costeiro (Kjerfve e Magill, 1989). Os sistemas lagunares, por serem sistemas muito produtivos, são sistemas que podem sofrer grande pressão antrópica, pois são zonas muito procuradas pelo Homem devido aos recursos que fornecem através da pesca, extração de sal, piscicultura, aquicultura, serviços do ecossistema como o acesso à zona costeira adjacente, turismo, etc. (Duarte *et al.*, 2007; Pacheco, 2010). São locais procurados como locais de proteção, desova e maternidade de animais, o que faz com que nalguns casos sejam considerados locais protegidos e parques naturais, rede NATURA e fazendo parte de algumas convenções como a de RAMSAR (Duarte *et al.*, 2007; <http://www2.icnf.pt/>). Por outro lado, por serem sistemas muito usados pelo Homem, ficam sujeitos a pressões antropogénicas, contribuindo para o excesso de nutrientes, os quais se não forem controlados podem provocar a eutrofização destes sistemas. Há a salientar que são sistemas suscetíveis e vulneráveis a estes processos, porque podem apresentar alguma limitação na renovação das águas por troca

com o oceano adjacente (Newton *et al.*, 2018). Com o decorrer do tempo, devido ao aumento destas pressões e à elevada suscetibilidade do meio aquático foi necessário criar diretivas que têm como objetivos a conservação, gestão e valorização ambiental dos recursos hídricos. Foi neste contexto que foram implementadas a Diretiva Quadro da Água (Diretiva 2000/60/CE), que tem como propósito preservar e melhorar o bom estado ecológico de águas doces e costeiras, e Diretiva Quadro Estratégia Marinha (Diretiva 2008/56/CE), que pretende permitir a utilização sustentável dos recursos e bens marinhos a partir da gestão das atividades humanas, atingindo o bom estado ambiental até 2020.

#### **1.4. As lagoas costeiras e a sua vulnerabilidade às alterações climáticas**

As alterações climáticas (que incluem o aumento do nível médio da água do mar, da temperatura, do dióxido de carbono, e alteração de salinidade) são um sério problema para estes sistemas, pois podem vir a alterar de várias formas as lagoas costeiras (Lloret *et al.*, 2008).

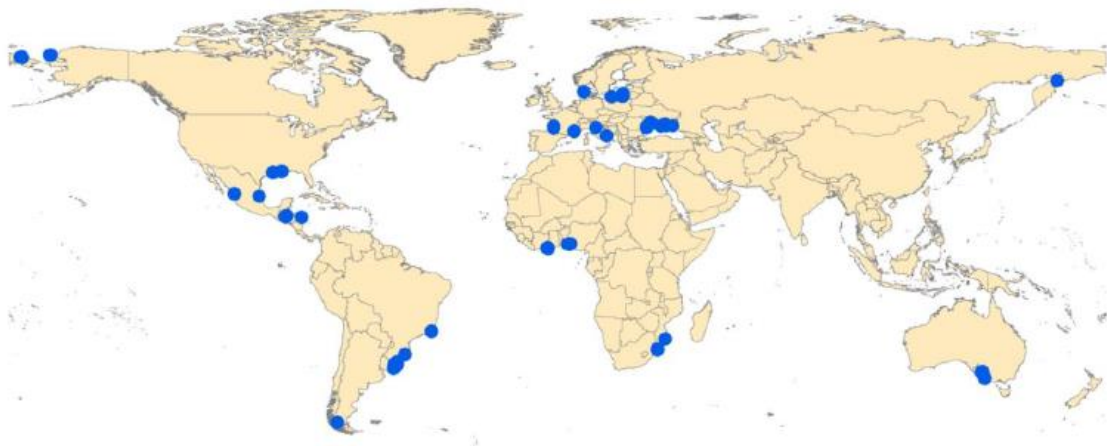
Se a atual taxa de subida do nível do mar (~3,2 mm/ano (IPCC, 2014)) mantiver provocará o aumento da profundidade. O aumento da coluna de água pode provocar uma redução da penetração da radiação luminosa, aumentando assim o dióxido de carbono no sistema mais profundo e diminuindo o oxigénio, pois haverá mais respiração e menos fotossíntese (Zhang *et al.*, 2004). Por outro lado, o aumento de temperatura das águas costeiras pode diminuir a solubilidade de gases da água (Joos *et al.*, 2003), e afetar as taxas de fotossíntese e de respiração. A temperatura do oceano mundial tem estado a aumentar 0,11 °C por cada década, desde 1971 a 2010 para os primeiros 75 m (IPCC, 2013). O aumento do número de eventos extremos pode provocar uma ressuspensão dos sedimentos e/ou erosão do sistema, podendo provocar um aumento da turbidez e consequente diminuição da penetração da radiação solar e consequente diminuição da fotossíntese (Zhang *et al.*, 2004). A variação da salinidade pode alterar os padrões de circulação nalguns locais (Lloret *et al.*, 2008) e alterar a composição e a distribuição de algumas espécies (Mackenzie *et al.*, 2007).

De um modo geral, as alterações climáticas podem ainda vir a provocar alguns problemas de eutrofização nestes sistemas, porque podem vir a alterar os padrões de precipitação e de escoamento, a salinidade e a concentração de oxigénio dissolvido que vai alterar a composição e a diversidade natural nestes sistemas (Anthony *et al.*, 2009).

A entrada excessiva de nutrientes neste tipo de sistemas é um dos grandes responsáveis pela eutrofização dos mesmos (Gari *et al.*, 2014). O forçamento hidrodinâmico do sistema pode vir a controlar a eutrofização, pois se for suficientemente forte para renovar as águas do sistema pode evitar a eutrofização. No entanto, se a água do sistema não for renovada de modo eficiente, este torna-se mais suscetível à eutrofização (Zaldívar *et al.*, 2008).

### 1.5. Distribuição geográfica das lagoas costeiras.

Há vários sistemas lagunares distribuídos um pouco por todo o mundo (Figura 1.2). Como foi referido anteriormente, podem ocorrer diferentes tipos de sistemas lagunares no mesmo continente, como por exemplo na Europa. No Mediterrâneo existem condições de maré microtidais enquanto no Atlântico as condições de maré são mesomareais ou macromareais.



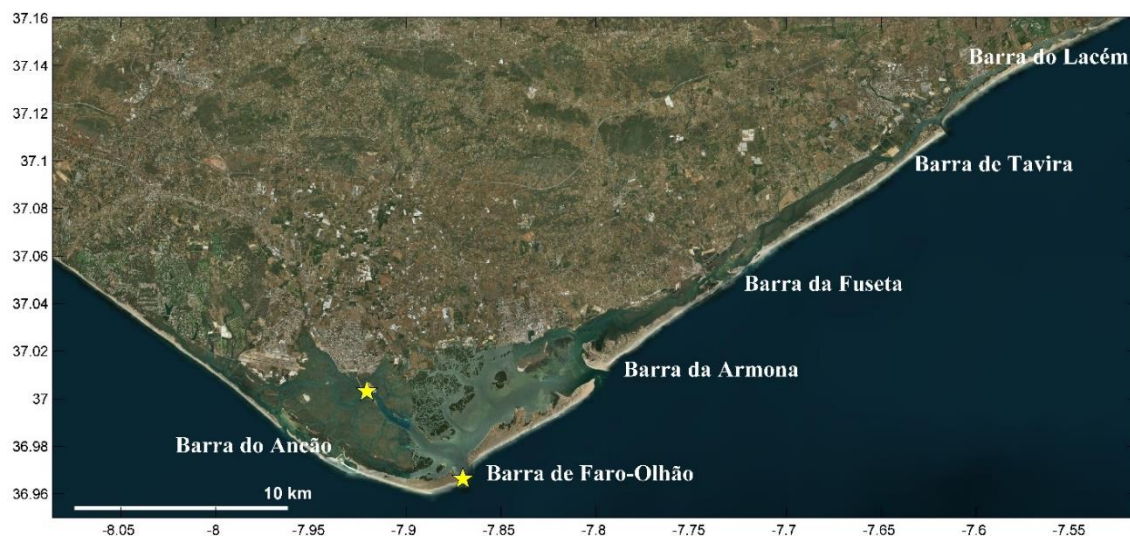
**Figura 1.2** – Localização geográfica de 34 lagoas costeiras incluídas na base de dados NERC GloboLakes. **Fonte:** (Politi e Groom, 2017).

Só em Portugal existem 3 sistemas lagunares distintos (Ria Aveiro no norte, e Alvor e Ria Formosa, no sul). Esta última trata-se de um sistema de grande importância, tanto a nível socioeconómico como ecológico para a região do Algarve, o que motivou o presente estudo.

### 1.6. Ria Formosa

A Ria Formosa localiza-se no Sul de Portugal (Figura 1.3), é um sistema lagunar meso-mareal, do tipo semidiurno com uma altura de maré média de aproximadamente 2

m, variando entre 1,5 m e 3,5 m (Newton and Mudge, 2003). Este sistema é caracterizado por ter uma elevada produtividade biológica e diversidade ecológica e serve como área de reprodução e desenvolvimento para um grande número de espécies marinhas (Barbosa, 2010; Duarte *et al.*, 2007).



**Figura 1.3-** Localização da Ria Formosa, das várias barras e dos dois PT's fundeados durante o projeto COALA, assinalados com estrelas amarelas. Aquisição da imagem a partir de J. F. Luis. Mirone: A multi-purpose tool for exploring grid data. *Computers & Geosciences*, 33, 31-41, 2007.

Este sistema é delimitado por cinco ilhas barreira e duas penínsulas, entrecortadas por seis barras: Ancão, Faro-Olhão, Armona, Fuseta, Tavira e Lacém. (Fabião *et al.*, 2014; Portela, 2012). Tem cerca de 100 km<sup>2</sup> de área, 55 km de comprimento (Este-Oeste) e 6 km de largura máxima (Jacob *et al.*, 2012; Newton e Mudge, 2003). Tem uma profundidade média de 2 m, é constituída por sapais, salgados, vasas, bancos de areia e canais. A importância da descarga de água doce restringe-se ao rio Gilão que desagua na Ria Formosa junto à cidade de Tavira. Nas margens da Ria Formosa localizam-se três grandes cidades, Faro, Olhão e Tavira, com uma população de cerca de 125000 habitantes, mas na época de verão este número triplica causando uma maior pressão antrópica (Duarte *et al.*, 2007). Há mais de 100 tipos de aproveitamento das terras na Ria Formosa sendo os principais grupos o desenvolvimento urbano, a agricultura, a floresta, as pastagens, os sapais ou zonas húmidas e os canais de água (Duarte *et al.*, 2008).

As 6 barras permanentes permitem dividir este sistema em três sectores distintos: oeste (Ancão, Faro-Olhão e Armona), central (Fuzeta e Tavira) e este (Lacém) (Barbosa, 2010; Pacheco, 2010; Salles *et al.*, 2005). A estratificação é muito limitada e em cada

ciclo de maré o setor oeste troca cerca de 90% do volume de água da Ria Formosa com o oceano adjacente (Cravo *et al.*, 2013; Pacheco, 2010). Segundo Pacheco (2010) existe uma forte conexão entre a barra de Faro-Olhão e a da Armona, sendo estas as mais importantes do sector oeste. Esta relação é particularmente acentuada em maré viva (Cravo *et al.*, 2013; Pacheco, 2010).

A barra de Faro-Olhão é uma barra artificial, que foi aberta entre os anos de 1929 e 1955 e estabilizada através de dois molhes. A barra de Faro-Olhão é a barra mais importante (Jacob e Cravo, 2016; Pacheco, 2010), com um prisma de maré de aproximadamente 59 a 71%, seguida da barra da Armona, que é uma barra natural. Antes da abertura da barra de Faro-Olhão, a barra da Armona era a barra dominante da Ria Formosa. Atualmente tem um prisma de cerca 25 a 37% (Jacob e Cravo, 2016; Pacheco, 2010). A barra do setor oeste com menor prisma é a barra do Ancão, que foi recolocada artificialmente em 1997, tendo migrado 3500 m desde a sua abertura e por isso foi recolocada novamente em 2015 para melhorar a renovação das águas (Jacob e Cravo, 2016). A sua contribuição para as trocas do setor oeste é de cerca de 6% (Jacob *et al.*, 2013; Jacob e Cravo, 2016; Pacheco, 2010; Salles, 2001; Salles *et al.*, 2005).

É muito importante compreender a hidrodinâmica da Ria Formosa para perceber a dinâmica das trocas e balanços de massa (nutrientes, clorofila e sólidos em suspensão), fortemente regulados pelas trocas de água em cada ciclo de maré. Pacheco (2010) e Salles *et al.* (2005) dedicaram os seus estudos à circulação e hidrodinâmica nas principais barras de Ria Formosa. Existem ainda alguns trabalhos interdisciplinares, publicados, para algumas das barras da Ria Formosa como é o caso das barras de Faro-Olhão e do Ancão, que envolvem a dinâmica dos nutrientes e da clorofila *a* (Alcântara *et al.*, 2012; Cravo *et al.*, 2014, 2013, 2012; Ovelheiro, 2015; Rosa, 2016). No entanto, até à data não se conhecem trabalhos publicados usando esta abordagem para a Barra da Armona, o que motivou o presente estudo.

## **1.7. Objetivos**

Neste trabalho pretende-se estudar a contribuição da barra da Armona para as trocas de matéria com o oceano adjacente. Os dados analisados correspondem a quatro campanhas, duas no outono de 2011 e duas na primavera de 2012, realizadas no âmbito do projeto COALA “Nutrients and particulate matter dynamics – exchanges between a

**COA**stal **LA**goon and the adjacent ocean through a multiple inlet system: the case of Ria Formosa, south of Portugal” referência “PTDC/MAR/114217/2009-COALA”. Com estes dados pretende-se comparar os resultados, correspondentes a ciclos de maré completos, entre maré viva e maré morta bem como entre condições de outono *vs.* condições de primavera, em função das condições ambientais. Foram ainda calculados os transportes de massa (água, nutrientes, sólidos em suspensão e clorofila *a*) de forma a perceber o comportamento desta barra em termos de importação ou exportação destes compostos e sua importância para a produtividade da Ria Formosa, bem como a contribuição relativa face às outras duas barras do setor oeste da Ria Formosa.

## Capítulo 2 -Material e Métodos

### 2.1. Área de estudo

A área de estudo deste trabalho corresponde à barra da Armona. A única barra natural estável da Ria Formosa, ocupando aproximadamente a mesma posição ao longo dos recentes séculos (Weinholtz, 1964). Esta apresentava na altura das campanhas do projeto COALA uma largura de aproximadamente 560 m, mas sofreu uma grande redução de largura. Dados de 1873 a 1983 mostram que esta barra passou respetivamente de 4300 m para 1850 m (Esaguy, 1984). Esta barra tem uma área na secção reta de 2950 m<sup>2</sup> e uma profundidade de 5,2 m (Pacheco, 2010). A barra da Armona representa a única barra natural estável da Ria Formosa (Pilkey *et al.*, 1989). No entanto, está a diminuir em largura (Jacob e Cravo, 2016; Pacheco, 2010) e a perder eficácia hidrodinâmica desde a abertura da barra Faro-Olhão (Pacheco, 2010).



**Figura 2.1** - Imagem representativa da barra da Armona, local de estudo; o transecto de amostragem está representado a amarelo. Aquisição da imagem a partir de J. F. Luis. Mirone: A multi-purpose tool for exploring grid data. *Computers & Geosciences*, 33, 31-41, 2007.

Durante as várias campanhas COALA, para estimar os caudais de água e os transportes de nutrientes, clorofila *a* e sólidos em suspensão, trocados através desta barra ao longo de ciclos de maré completos, foi escolhida a secção representada a amarelo na Figura 2.1.

## 2.2. Amostragem

As amostragens foram realizadas no âmbito do projeto COALA, numa secção da barra da Armona (Figura 2.1), em duas estações do ano diferentes (outono e primavera) e em fases da maré quinzenal opostas (maré viva e maré morta), de forma a avaliar a influência da maré na variabilidade dos resultados. No outono, as campanhas decorreram a 23 de novembro de 2011 para maré viva e a 6 de dezembro de 2011 para maré morta, e na primavera a 21 de março de 2012 para a maré viva e a 29 de março de 2012 para a maré morta.

Foram feitas medições horárias na secção da barra ao longo de ciclos de maré semi-diurna completos (*ca.* de 13 h), para se avaliar a variação das características da água em função da maré e para calcular o caudal através da secção reta perpendicular às margens e posteriormente calcular o transporte de massa trocado ao longo de cada ciclo de maré. As amostragens horárias foram realizadas com o auxílio de uma embarcação e o equipamento utilizado foi um perfilador acústico por efeito de Doppler (ADP, Bottom Track, Sontek) para medir a velocidade da corrente ao longo da secção, com GPS acoplado, de modo a garantir medir aproximadamente no mesmo local ao longo das várias amostragens (Jacob *et al.*, 2012). Posteriormente, porque as barras do setor oeste não registaram variações significativas espaciais/horizontais em termos dos parâmetros medidos *in situ*, selecionou-se um ponto no centro da secção (Figura 2.1) onde se usou uma sonda multiparamétrica (YSI 6820) para medição *in situ* de temperatura, salinidade, pH e oxigénio dissolvido (em concentração e % de saturação) e garrafas de Niskin com 5 L de capacidade para recolhas de amostras de água.

A medição dos parâmetros *in situ* e recolha das amostras de água foram efetuadas a várias profundidades no ponto central: superfície, meio da coluna de água e fundo. Para as amostras de água recolhidas com a garrafa de Niskin, usaram-se 2 frascos de 1 L para amostras de clorofila *a* e 1 frasco de 1 L para as amostras de nutrientes (amónia, nitritos, nitratos, fosfatos e silicatos) e sólidos em suspensão.



Durante essas campanhas foram ainda colocados dois PT's (transdutores de pressão), um no Cais Comercial de Faro (zona interior da Ria) e outro na Ilha Deserta (zona mais externa da Ria, junto à barra Faro-Olhão), como indicado na Figura 1.3, para avaliar a altura da maré nos dias de amostragem e o atraso da maré na zona mais interior da Ria Formosa.

### 2.3. Análises Laboratoriais

As amostras de água recolhidas foram conservadas em malas térmicas com placas de gelo, e encaminhadas para o laboratório para posterior análise de sólidos em suspensão, clorofila *a* e nutrientes.

Sólidos em suspensão - as amostras de água (1 L) foram separadas em 2 replicados de 0,5 L e filtrada por um filtro de acetato de celulose com uma porosidade de 0,45 µm, previamente identificados, lavados e secos numa estufa a 100° ± 5° C, durante 1 h, arrefecidos pelo menos 1 h em exsiccador e pesados em balança analítica. Depois da filtração, os filtros foram lavados com água destilada, secos novamente a 100° ± 5° C, arrefecidos no exsiccador e novamente pesados, para a determinação dos sólidos em suspensão. A amostra filtrada foi acondicionada em frascos e congelada, a -20° C, para posterior determinação dos nutrientes.

O cálculo da concentração de sólidos em suspensão deriva da seguinte da fórmula:

$$\text{Sólidos em suspensão (mg/L)} = \frac{pf - pi}{v} \times 10^3$$

pf = peso final depois de filtrado e seco (g)

pi = peso inicial do filtro (g)

v = volume filtrado (L)

Clorofila *a* - as amostras de água (2 L) foram separadas em 2 replicados de 1 L, homogeneizadas e filtradas em filtros de fibra de vidro GF/F, com uma porosidade de 0,7 µm. A filtração foi efetuada a baixa pressão (< 200 mm Hg) para não danificar as

células, e na ausência de luz para que os níveis de clorofila *a* não se alterassem. Após a filtração, os filtros foram guardados em papel de alumínio, devidamente etiquetados e congelados a - 20° C, até sua posterior análise.

A concentração de clorofila *a*, foi quantificada através do espectrofotômetro, tendo por base o método de Lorenzen (1967). Para a análise, os filtros foram descongelados, colocados em tubos de centrífuga, protegidos da luz em papel de alumínio, onde se adicionam 5 mL de acetona a 90%, refrigerada. Os filtros foram macerados, com o auxílio de uma vareta de vidro de extremidade irregular e acrescentaram-se mais 5 mL de acetona. Os tubos foram guardados no frio durante 8 a 24 horas. Após este período, centrifugaram-se as amostras a uma velocidade de aproximadamente 3500 rpm (rotações por minuto), durante 10 minutos. Após a centrifugação, retirou-se o sobrenadante e colocou-se numa célula de 1 cm para proceder à leitura no espectrofotômetro da absorvância a 665 nm e 750 nm, antes e depois de se adicionar 150 µL de HCl 1 N, para se quantificar a concentração de clorofila *a* ativa e feopigmentos. A concentração de clorofila *a* e feopigmentos foi calculada individualmente a partir da seguinte fórmula:

$$\text{Clorofila } a \text{ (}\mu\text{g/L)} = \frac{26.7 \times (aa - ad) \times V}{L \times p}$$

$$\text{Feopigmentos (}\mu\text{g/L)} = \frac{26.7 \times (1.7 \times ad - aa) \times V}{L \times p}$$

aa = absorvância da amostra a 750 nm antes do ácido

ad = absorvância da amostra a 750 nm depois do ácido

L = volume filtrado (em L)

p = espessura da célula do espectrofotométrico (cm)

V = volume em mL de acetona (10)

Nutrientes - As amostras para a determinação da concentração de nutrientes foram analisadas através de métodos espectrofotométricos, baseados em retas de calibração,

construídas a partir de soluções padrão, que englobam a concentração dos nutrientes a determinar nas amostras. Os comprimentos de onda selecionados são específicos para cada nutriente. Os métodos utilizados foram descritos por Grasshof *et al.* (1983). Para cada amostra foram analisados 5 mL para cada nutriente e juntaram-se os reagentes correspondentes e trabalhou-se em triplicado. Só foram aceites retas com um valor de coeficiente de correlação ( $r$ ) > 0,99. A concentração é determinada a partir da seguinte fórmula:

$$\text{Concentração} = \frac{\text{abs}-a}{b}$$

abs = absorvância da amostra

a = ordenada na origem

b = declive da reta

Cada nutriente tem um procedimento experimental específico que se passa a explicar seguidamente:

- Compostos de azoto:
  - Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) – A concentração foi determinada através de adição de sulfanilamida e de bicloreto de N-(1-naftil)-etilenodiamina formando um composto de azoto. A absorvância deste composto é medida a 540 nm.
  - Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) – A concentração de nitratos é feita através da redução de nitratos a nitritos pela coluna de cádmio, previamente tratada com sulfato de cobre. Depois da redução repete-se o processo utilizado para a determinação dos nitritos. A absorvância deste composto também é medida a 540 nm.
  - Amónia ( $\text{NH}_4^+$ ) – A concentração de amónia foi determinada através de adição de citrato alcalino, de um catalisador (nitroprussiato de sódio), dissolvido numa solução com fenol e de um composto com cloro (ácido dicloroisocianúrico). As amostras foram tapadas e mantidas no escuro entre 8 e 24 h e a absorvância do composto azul de indofenol medida a 630 nm.
- Fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) – A concentração foi determinada em meio ácido, adicionando um catalisador que contém molibdato e posteriormente ácido ascórbico. A absorvância foi medida a 880 nm.

- Silicatos ( $\text{SiO}_4^{4-}$ ) – A concentração foi determinada com uma solução de molibdato de amónio em condições ácidas, formando complexos de molibdato de sílica. Posteriormente foi adicionada uma solução de ácido oxálico, e de seguida ácido ascórbico. A absorvância do composto corado foi medida a 810 nm.

#### 2.4. Cálculo dos Prismas e Transportes

O caudal é calculado numericamente através da regra do trapézio composta aplicada ao integral:

$$Q = \iint_A \vec{v} \cdot \vec{n} dA$$

$Q$  = caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$A$  = área do transecto ( $\text{m}^2$ )

$\vec{v}$  = a velocidade da corrente ( $\text{m/s}$ ) obtida ao longo da secção, assinalada na Figura 2.1, com o auxílio de um ADP

$\vec{n}$  = vetor unitário normal à secção reta na direção da enchente

$dA$  = elemento de área na superfície da secção reta na barra da Armona

A integração do caudal ao longo do período de amostragem permite obter os prismas de enchente, vazante e residual, que resulta da soma dos prismas de enchente e de vazante. O cálculo do transporte de massa dos diferentes parâmetros ao longo do ciclo de maré é obtido pela integração no tempo do produto entre as concentrações obtidas e o caudal. A partir dos transportes obtidos pode-se verificar o comportamento da barra da Armona quanto à exportação (-) ou importação (+) dos vários parâmetros analisados, considerando o residual que nos indica se a barra exporta ou importa um dado parâmetro.

#### 2.5. Análise de imagens de satélite

De forma a verificar a influência dos processos oceanográficos/condições meteorológicas e ambientais nas diferenças encontradas entre maré viva e morta e entre as estações de primavera e outono, foram analisadas imagens de satélite compósitas semanais de temperatura superficial do mar e clorofila  $a$ , no sul de Portugal, a partir do sítio OceanColor da NASA (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>).

## **2.6. Análise estatística**

Antes de aplicar qualquer tratamento estatístico foi necessário verificar a normalidade e homogeneidade dos resultados, através dos testes de Shapiro-wilk e do teste Levene. Quando apresentaram uma distribuição normal e variâncias homogêneas aplicaram-se testes paramétricos e quando a distribuição das variáveis não foi normal ou não houve homogeneidade de variância aplicaram-se testes não paramétricos.

Foi também necessário comparar a variabilidade entre as duas estações do ano utilizadas (primavera e outono) e entre os diferentes tipos de maré (viva e morta). Como teste paramétrico, foi usada a ANOVA para os dados normais, e o teste Kruskal-Wallis (teste não paramétrico, semelhante à ANOVA) para variáveis não paramétricas ou sem homogeneidade de variância. Foi considerado um limite mínimo de confiança de 95%.

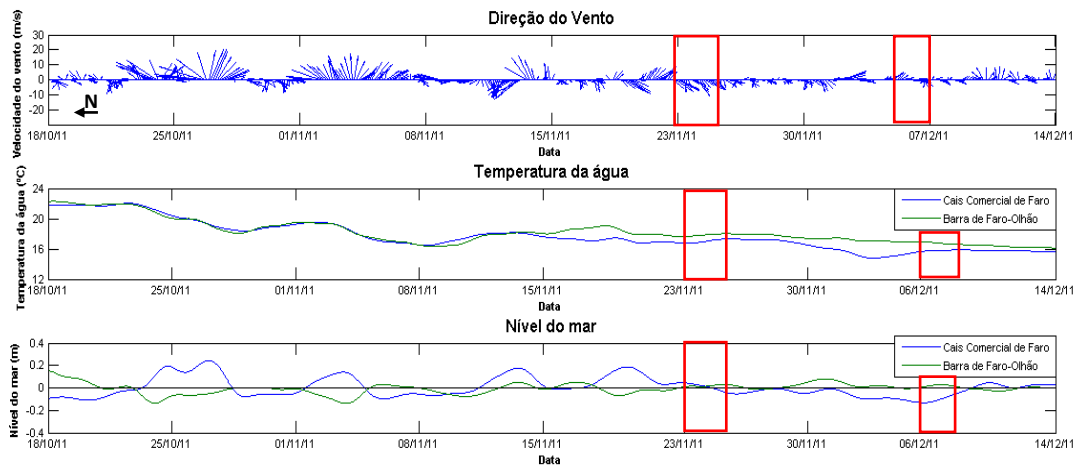
Para análise de correlação entre as variáveis de cada campanha foi utilizado o coeficiente de Pearson (dados paramétricos) ou o coeficiente de Spearman (dados não paramétricos), usando um nível de confiança de 95%.

## Capítulo 3 - Resultados

### 3.1. Caracterização Oceanográfica das campanhas

As campanhas em condições de outono decorreram em novembro de 2011, em condições de maré viva (23/11), e em dezembro de 2011, em condições de maré morta (06/12). Com base na informação obtida a partir dos dados registados nos PT's fundeados na Ilha Deserta e no Cais Comercial, a temperatura média da água durante a campanha de novembro variou entre 17°C e 18°C, com ventos de sudeste de *ca.* 10 m/s (Figura 3.1) e sem ocorrência de precipitação neste dia. Na campanha de dezembro o vento foi fraco de *ca.* 5m/s, tendo-se verificado uma maior variabilidade rumo do vento. A temperatura foi ligeiramente inferior à de novembro, variando entre 15°C e 17°C (Figura 3.1).

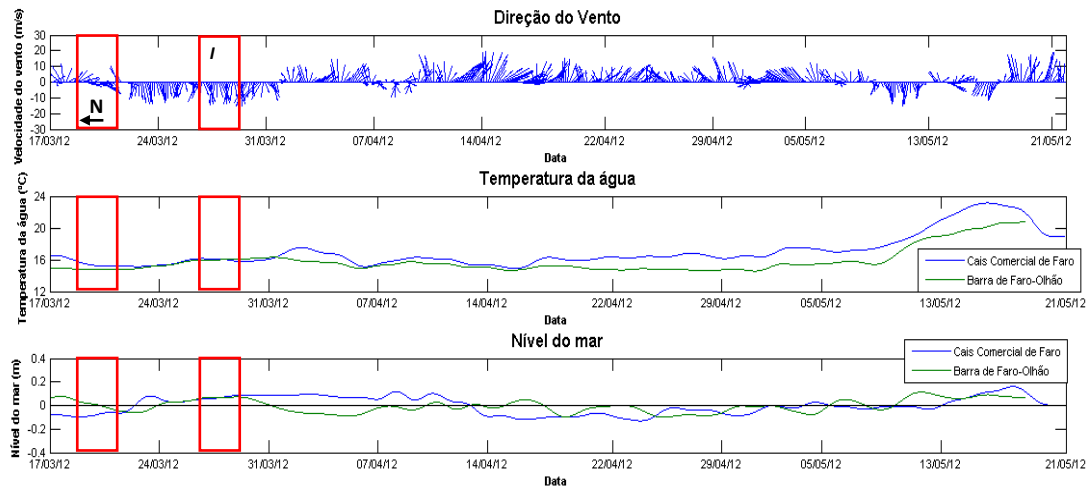
As condições oceanográficas relativas à temperatura superficial do mar obtida por satélite (SST), usando imagens compósitas de 8 dias anteriores à data da campanha (Figura 3.3), mostram que ocorreu um evento de afloramento costeiro fraco durante a campanha de outono, em maré viva (Figura 3.3 a) e b), mas inexistente em maré morta (Figura 3.3 c) e d)). As imagens de satélite de clorofila *a* correspondentes, compósitas de 8 dias (Figura 3.4), mostram que as concentrações de clorofila *a* nas campanhas de outono foram baixas ( $< 1 \mu\text{g/L}$ ).



**Figura 3.1** - Direção do vento, temperatura da água e nível do mar, para a campanha de outono. Quadrado vermelho relativos à altura da campanha. A azul dados recolhidos no cais comercial de Faro e a verde na barra de Faro-Olhão.

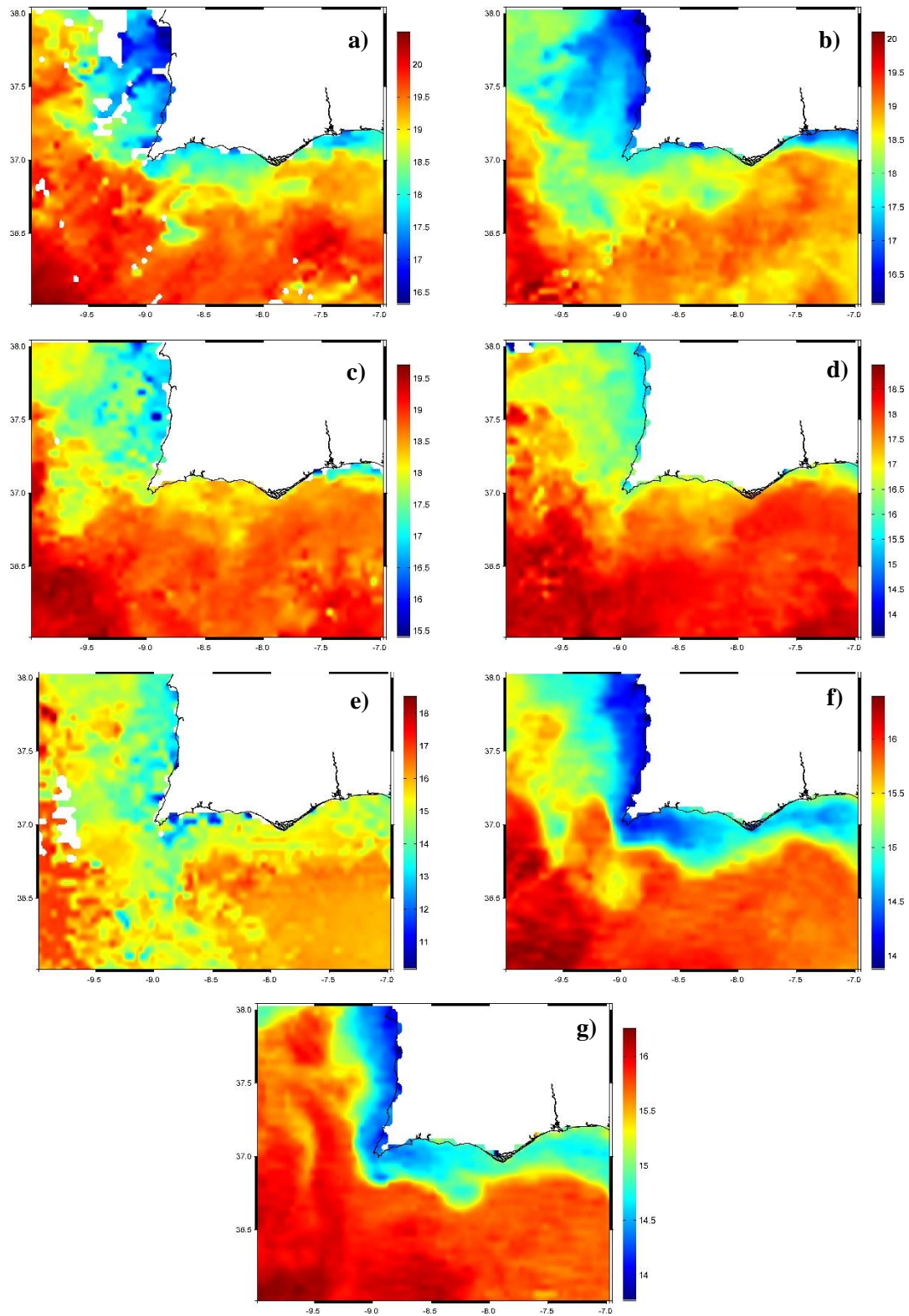
Na campanha de primavera, em março de 2012, em maré viva (21/03) a temperatura da água variou entre 13°C e 16°C, com a velocidade do vento de 15 m/s rodando de

sudoeste para noroeste ao final do dia, sem ocorrência de precipitação. Na campanha de primavera em maré morta (29/03/12) a temperatura da água não oscilou, mantendo-se a cerca de 16°C, com um vento de predominante de norte com 20 m/s e sem ocorrência de precipitação.



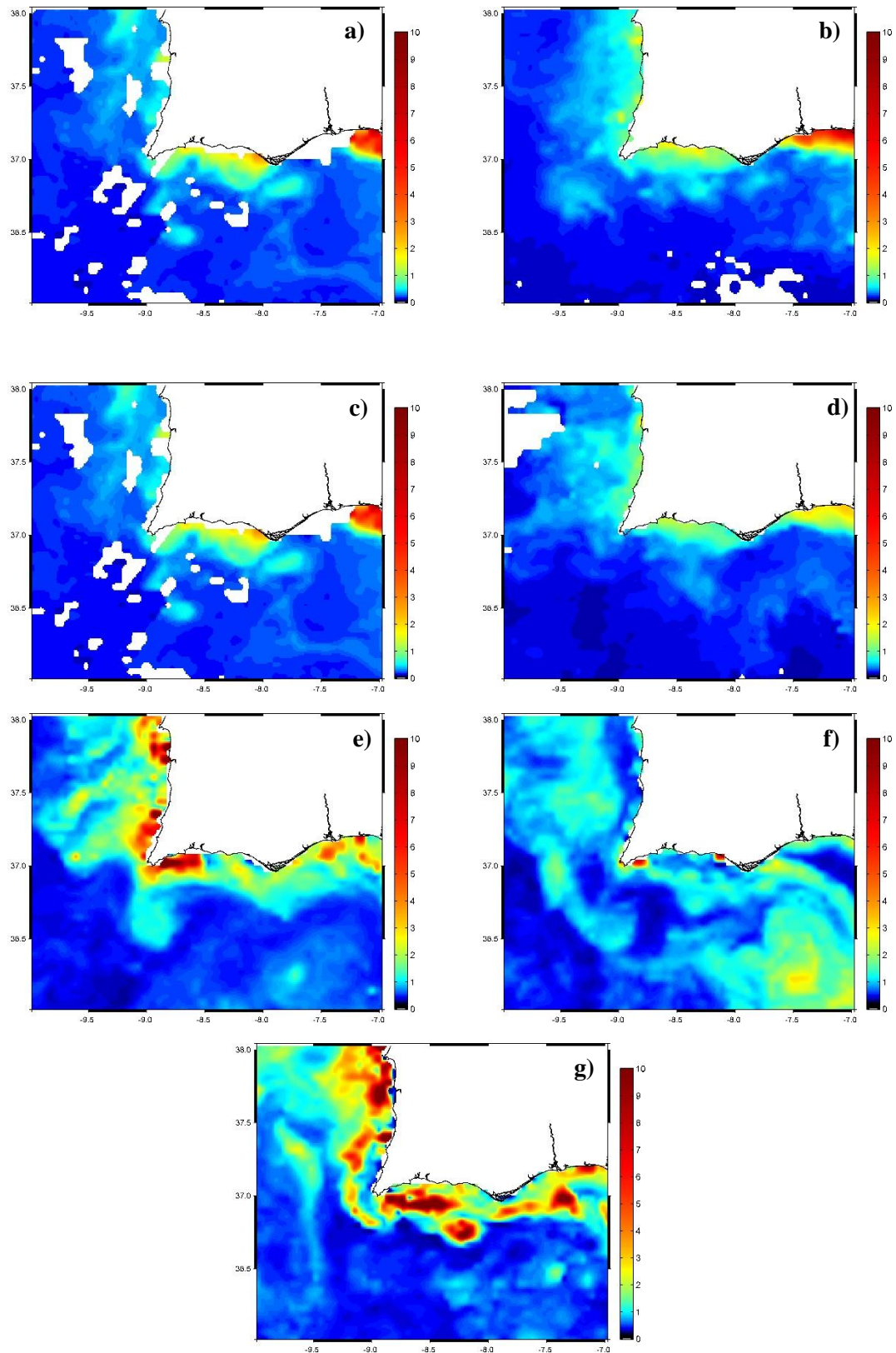
**Figura 3.2** - Direção do vento, temperatura da água e nível do mar, para a campanha de primavera. Quadrado vermelhos relativos à altura da campanha. A azul dados recolhidos no cais comercial de Faro e a verde na barra de Faro-Olhão.

As condições oceanográficas na primavera, tanto em maré viva como em maré morta, revelam que nas duas semanas anteriores às campanhas ocorreu afloramento costeiro forte na costa adjacente ao local de estudo (Figura 3.3 e), f) e g)), mais intenso na campanha de maré viva (21/3), como observado nas imagens de SST. Quanto à clorofila *a*, podemos verificar através das Figura 3.4 e) e g), que nas duas semanas anteriores à primeira campanha e na semana da segunda campanha houve um aumento de concentração de clorofila *a*, em mais de 100%, passando de *ca.* de 1 mg/m<sup>3</sup> a 2 mg/m<sup>3</sup>.



**Figura 3.3** – Imagens compostas de 8 dias da temperatura na superfície do oceano. Campanha de outono A), B) C) e D) e campanha de primavera E), F) e G). A) 2 semanas anterior ao dia da campanha 23/11/11. B) semana anterior a 23/11/11. C) 2 semana anteriores a 06/12/11. D) semana anterior a 06/12/11. E) 2 semanas anteriores à campanha 21/03/12. F) semana anterior a 21/03/12 e 2 semanas anteriores a 29/03/12. G) semana anterior a 29/03/12. Fonte: OceanColor, NASA.





**Figura 3.4** - Imagens compostas de 8 dias da concentração de clorofila *a* na superfície. Campanha de outono A), B) C) e D) e campanha de primavera E), F) e G). A) 2 semanas anteriores ao dia da campanha 23/11/11. B) semana anterior a 23/11/11. C) 2 semana anteriores a 06/12/11. D) semana anterior a 06/12/11. E) 2 semanas anteriores à campanha 21/03/12. F) semana anterior a 21/03/12 e 2 semanas anteriores a 29/03/12. G) semana anterior a 29/03/12. Fonte: OceanColor, NASA

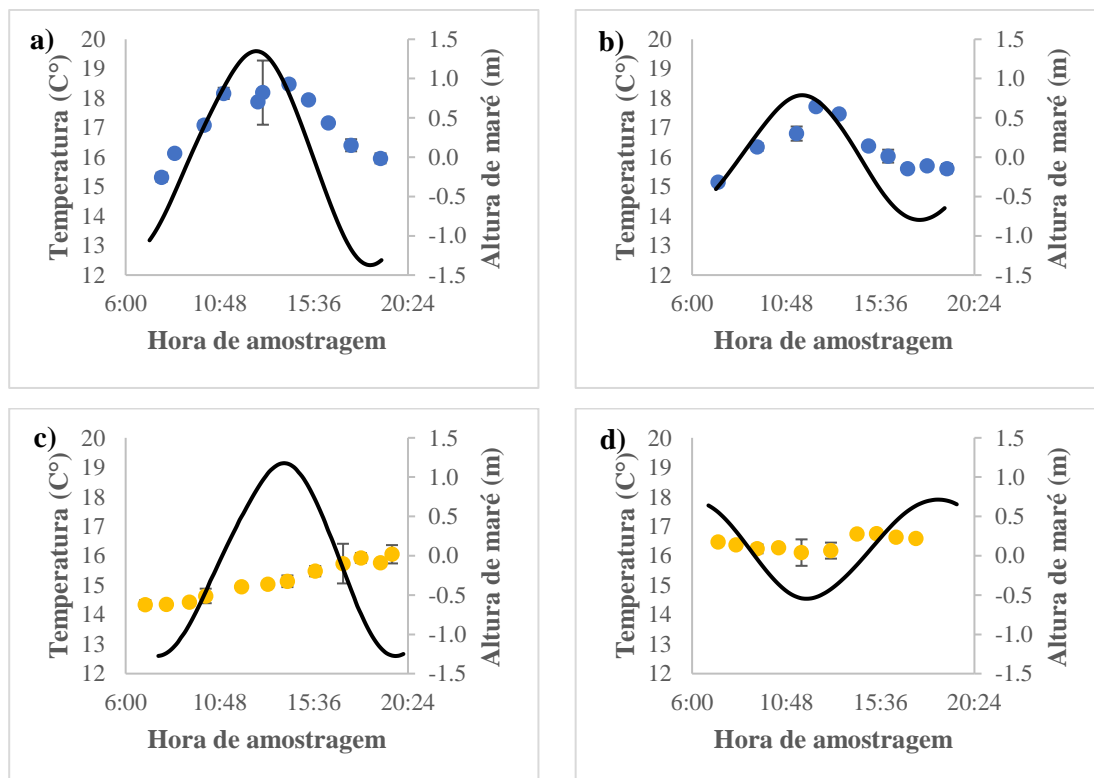
### 3.2. Variabilidade mareal dos parâmetros

Ao longo dos vários ciclos de maré, quer em maré viva quer em maré morta, nas estações de outono e primavera, verificou-se que a temperatura (Figura 3.5) variou ao longo do período de amostragem, em fase com a altura da maré. No outono os valores mais elevados foram registados geralmente a meio do dia, coincidindo com a preia-mar. Já na primavera os valores mais elevados registaram-se no final da tarde. Tal como a temperatura, a salinidade (Figura 3.6), também variou em fase com a altura da maré, com os mínimos próximos da hora de baixa-mar e os máximos próximos da preia-mar. Os valores de pH, Figura 3.7, apresentaram-se ligeiramente alcalinos, num intervalo perto de 8, sem grandes variações ao longo da maré. A percentagem de saturação de oxigénio (Figura 3.9), tal como a salinidade e a temperatura, variou em fase com a altura da maré, mas principalmente com a hora do dia, mais elevados a meio/final da tarde e mínimos ao início do dia. A clorofila *a*, Figura 3.10, aumentou, de uma forma geral, durante a preia-mar e com valores as mais baixas durante o período de vazante. Ou seja, variou em fase com a maré, apesar da forte dependência também da hora do dia, com os máximos coincidentes com o meio dia/meio da tarde. Os sólidos em suspensão, Figura 3.11, de uma forma geral, não apresentaram um padrão evidente de variação com a altura da maré.

A concentração de nutrientes ao longo do ciclo de maré, apresentaram um padrão de variação bem evidente e em antifase com a altura da maré (Figura 3.13 a Figura 3.17), particularmente no caso da amónia, nitratos e silicatos. Assim, as concentrações mais elevadas coincidiram com o período de vazante e as mais baixas com o período de enchente.

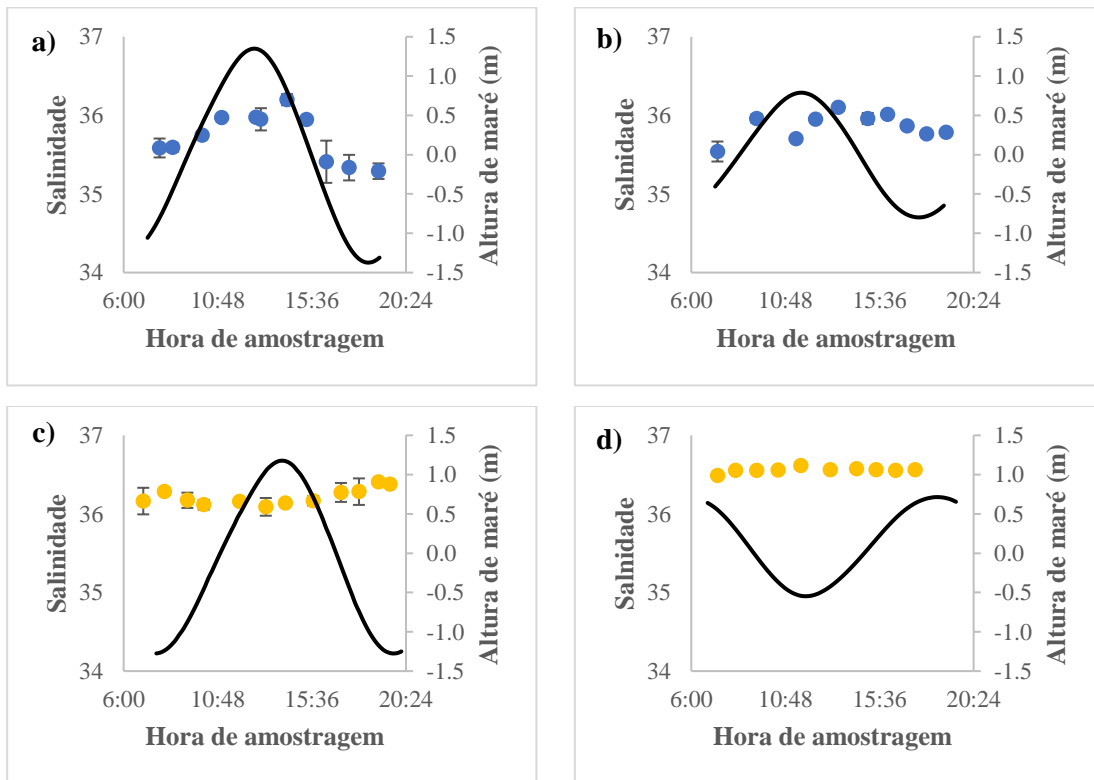
### 3.3. Comparação entre condições de maré e entre estações do ano

Relativamente à temperatura (Figura 3.5) da água pode-se dizer que esta foi globalmente mais elevada no outono do que na primavera. No outono, a temperatura mais baixa foi de 15,3 °C, em maré viva, e a mais alta foi de 18,5 °C, também em maré viva. Nesta estação do ano ocorreram diferenças significativas entre maré viva e maré morta ( $p < 0,05$ ), com os valores da campanha de 23 novembro superiores aos de 6 de dezembro. Para a estação de primavera a temperatura mais baixa foi na maré viva com 14,3 °C e a mais alta foi 16,8 °C em maré morta, existindo diferenças significativas entre a maré viva e a maré morta ( $p < 0,05$ ), em que os valores de 29 de março foram superiores aos de 21 de março. Entre ambas as estações do ano registaram-se também diferenças significativas em maré viva ( $p < 0,05$ ), com os valores de 23 novembro superiores aos de 21 de março. Em maré morta não se encontraram diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre outono e primavera. Os dados obtidos nas várias campanhas corroboram os dados observados nas imagens de satélite junto à área de estudo.



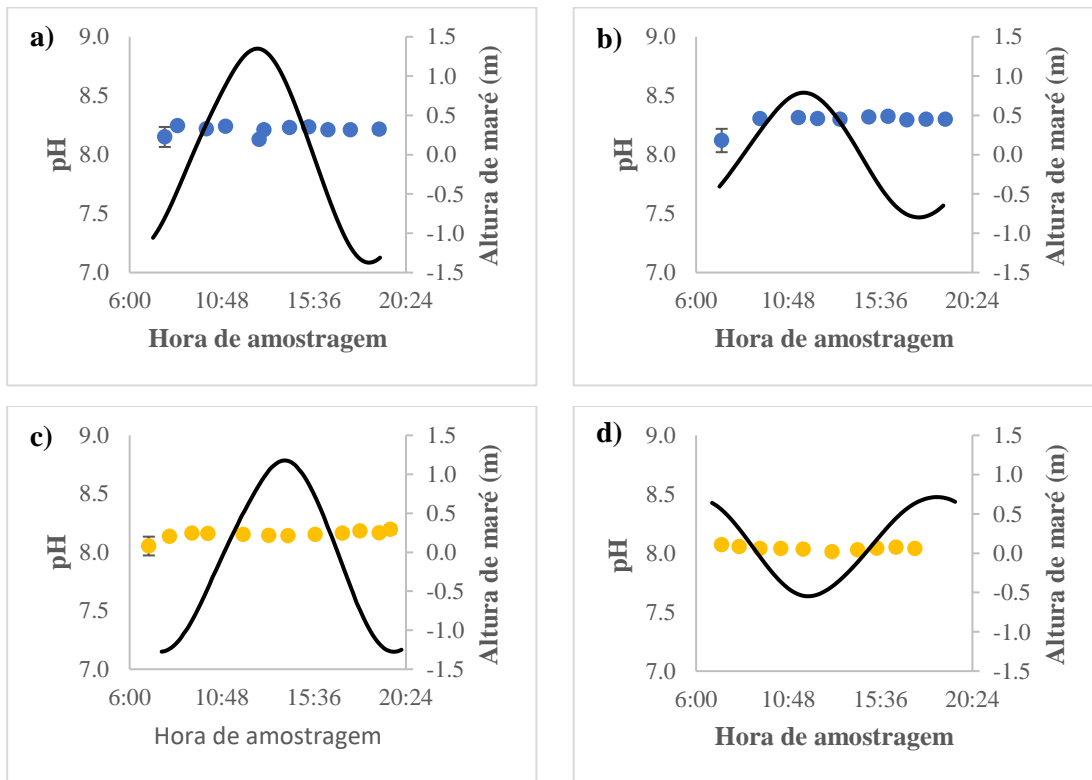
**Figura 3.5** - Variabilidade sazonal da temperatura (outono, a azul, e primavera, a amarelo) durante as condições de maré viva (A e C) e maré morta (B e D), na Barra da Armona.

Para a salinidade (Figura 3.6), os valores de outono foram significativamente mais baixos do que os das campanhas de primavera ( $p < 0,05$ ), tanto para a maré morta como para a maré viva. O valor mínimo de 35,29 foi encontrado na maré viva de outono e o valor máximo de 36,61 foi encontrado na maré morta de primavera. No entanto, não existem diferenças significativas para as campanhas de outono ( $p > 0,05$ ). Na primavera, os valores foram  $> 36$ , existindo diferenças significativas entre ambas as marés ( $p < 0,05$ ), com os valores de maré morta globalmente maiores que os valores de maré viva.



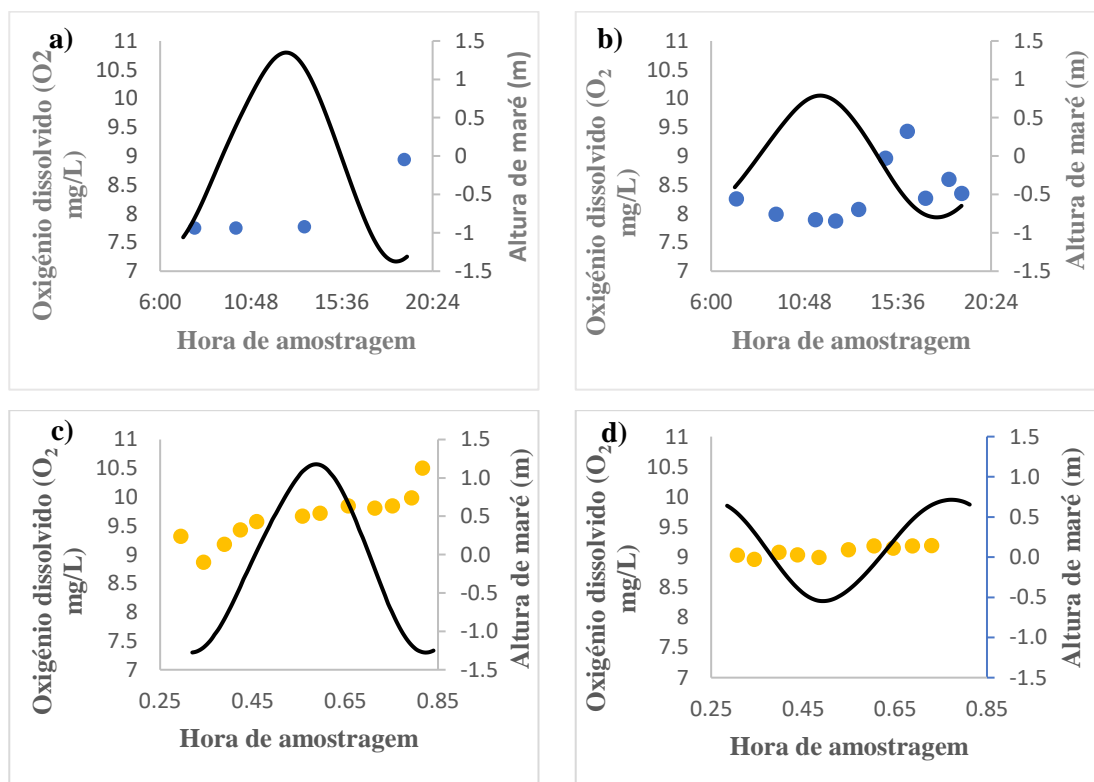
**Figura 3.6** - Variabilidade sazonal da salinidade (outono, a azul, e primavera, a amarelo) durante as condições de maré viva (A e C) e maré morta (B e D), na Barra da Armona.

Os valores de pH (Figura 3.7), nas campanhas de outono, na maré morta foram superiores aos da maré viva ( $p < 0,05$ ). O valor mínimo foi de 8,12 na maré morta e o máximo de 8,33. Na estação de primavera o valor mínimo de pH foi de 8,01, em maré morta, e o valor máximo de 8,20, na maré viva. Globalmente, os valores da maré morta foram inferiores aos valores da maré viva ( $p < 0,05$ ). Entre as campanhas de maré viva, os valores de outono foram superiores aos valores de primavera ( $p < 0,05$ ), tal como para maré morta ( $p < 0,05$ ), em que as diferenças foram mais evidentes.



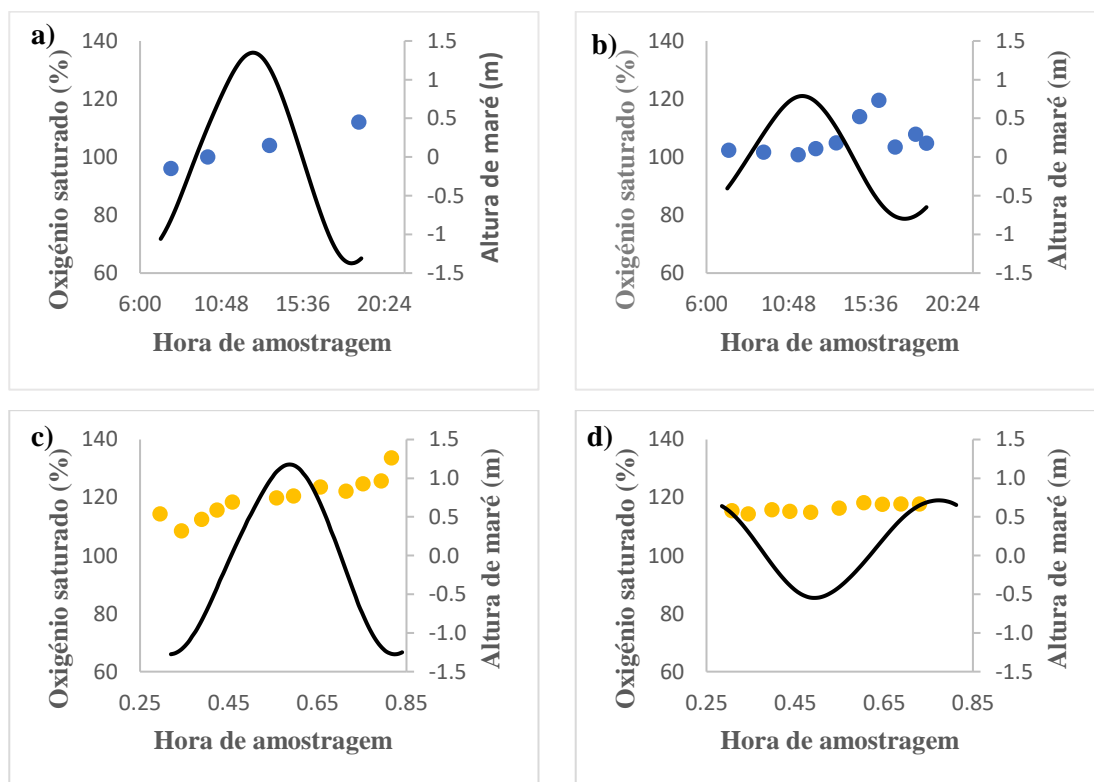
**Figura 3.7** - Variabilidade sazonal do pH (outono, a azul, e primavera, a amarelo) durante as condições de maré viva (A e C) e maré morta (B e D), na Barra da Armona.

Para os dados de oxigénio dissolvido (Figura 3.8), não existem diferenças significativas entre as campanhas de outono ( $p>0,05$ ). A concentração mínima observada foi de 7,75 mg/L, para a maré viva e a máxima de 9,43 mg/L para a maré morta. Para as campanhas de primavera, a concentração da maré viva foi significativamente superior à concentração de maré morta ( $p<0,05$ ). Na primavera, a concentrações mínima, de 8,87 mg/L, e máxima, de 10,50 mg/L, foram registadas em maré viva. Globalmente entre condições de maré, as concentrações da primavera foram significativamente superiores às de outono ( $p<0,05$ ).



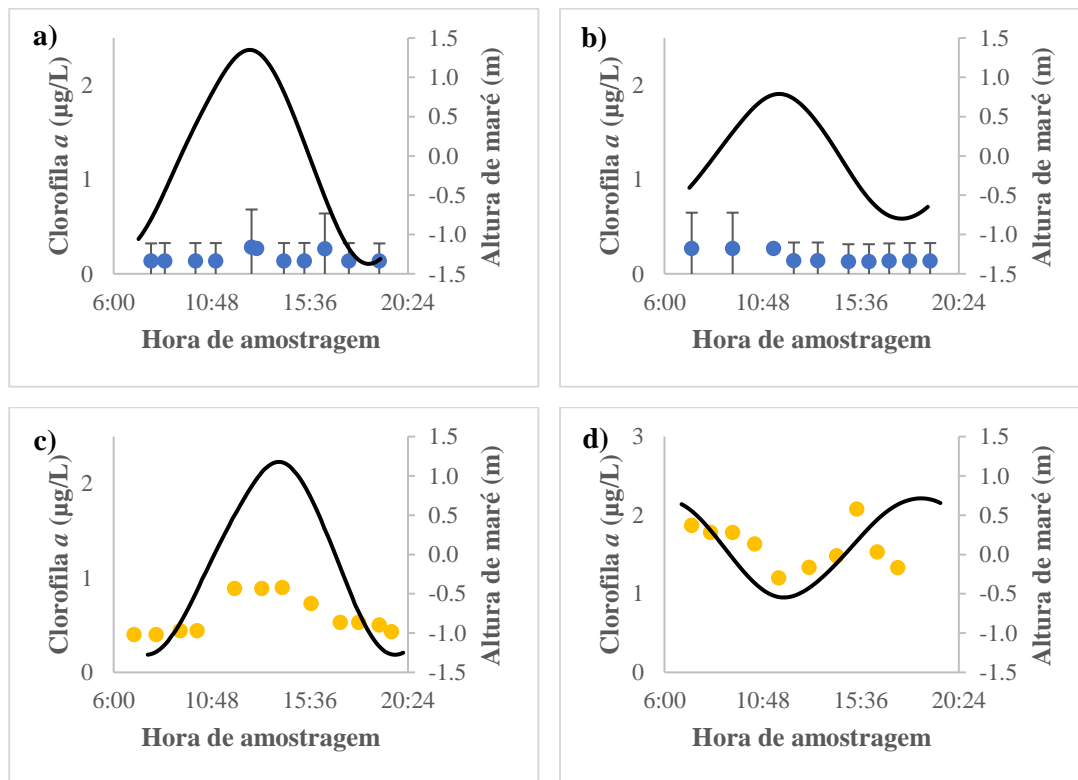
**Figura 3.8** - Variabilidade sazonal do oxigénio dissolvido ( $O_2$  mg/L) (outono, a azul, e primavera, a amarelo) durante as condições de maré viva (A e C) e maré morta (B e D), na Barra da Armona.

Para a percentagem de saturação de oxigénio dissolvido (Figura 3.9), não existem diferenças significativas nem entre as campanhas de outono nem entre as de primavera ( $p>0,05$ ). A menor percentagem de oxigénio para o outono, com 96%, foi atingida na maré viva enquanto a maior, de 120%, foi alcançada em maré morta. Para a primavera a maior percentagem foi de 134% na maré viva, e a menor, com 109%, também na maré viva. Entre marés vivas, os valores da campanha de primavera foram superiores aos de outono, tal como se observou relativamente às campanhas de maré morta, em que as campanhas de primavera são superiores às de outono,  $p<0,05$ .



**Figura 3.9** - Variabilidade sazonal do oxigénio saturado (outono, a azul, e primavera, a amarelo) durante as condições de maré viva (A e C) e maré morta (B e D) na Barra da Armona.

Para os dados de clorofila *a* (Figura 3.10) as concentrações nas campanhas de primavera foram superiores às de outono ( $p < 0,05$ ). Nas campanhas de outono, a concentração mínima foi de  $0,13 \mu\text{g/L}$ , tanto para a maré morta como para a viva. A concentração máxima foi de  $0,28 \mu\text{g/L}$  para a maré viva, mas globalmente não se registaram diferenças significativas entre estas duas campanhas de outono ( $p > 0,05$ ). No entanto, nas campanhas de primavera, a menor concentração foi de  $0,4 \mu\text{g/L}$  para a maré viva enquanto a máxima foi de  $2,08 \mu\text{g/L}$ , em maré morta, situação de maré em que se mediram concentrações significativas mais elevadas ( $p < 0,05$ ) do que na semana anterior. Os valores medidos nas várias campanhas são concordantes com os dados observados nas imagens de satélite (Figura 3.4) na zona costeira frente à área de estudo.

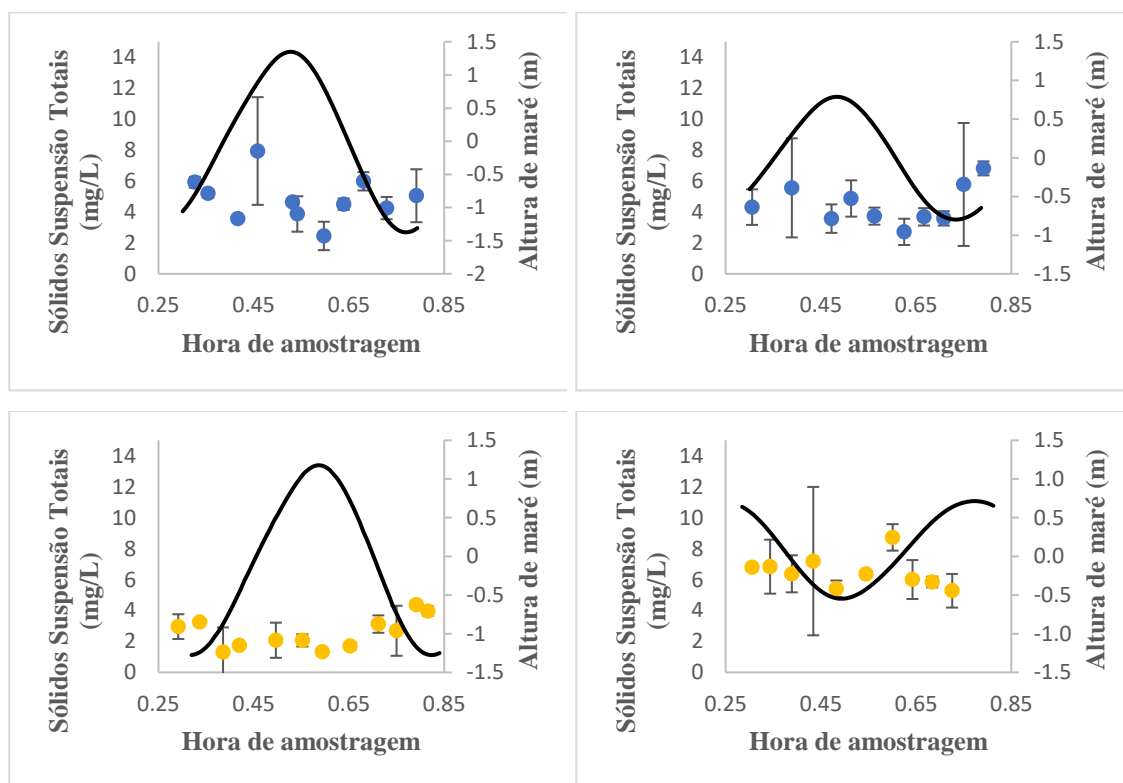


**Figura 3.10** – Variabilidade sazonal da clorofila *a* (outono, a azul, e primavera, a amarelo) durante as condições de maré viva (A e C) e maré morta (B e D) na Barra da Armona.



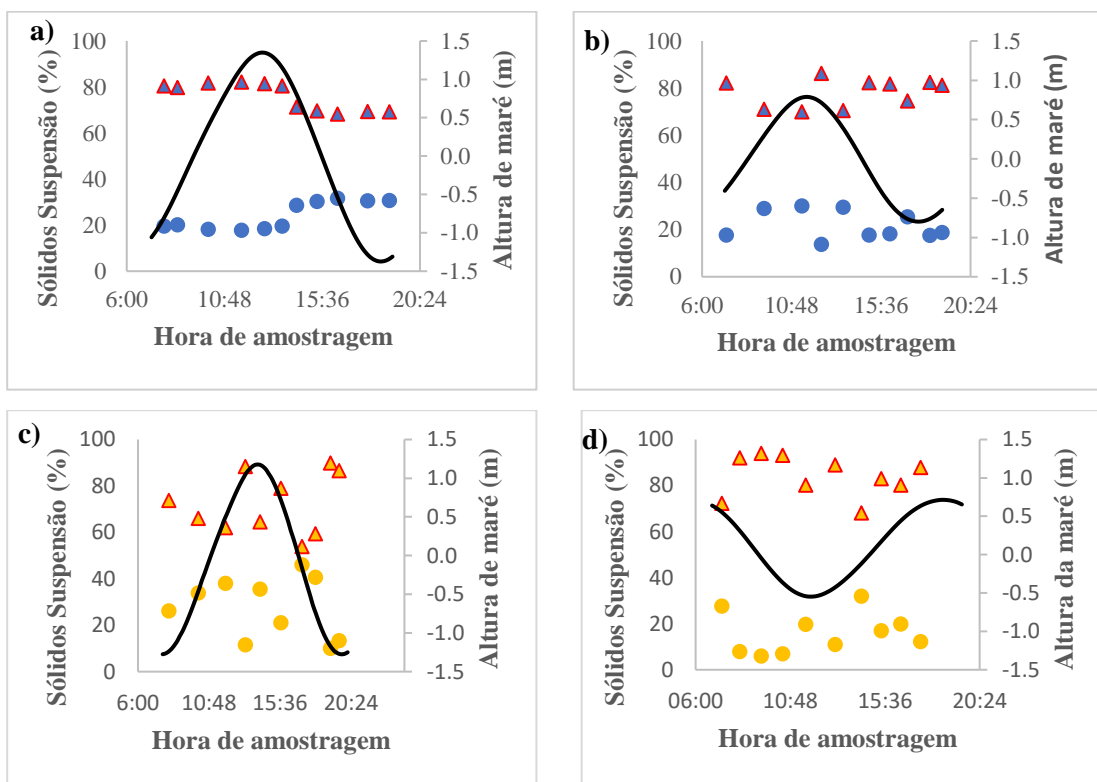
Para os sólidos em suspensão totais (Figura 3.11), para as campanhas de outono não existiram diferenças significativas ( $p>0,05$ ). No entanto existiram diferenças para as campanhas de primavera, com as concentrações da maré viva menores do que as de maré morta ( $p<0,05$ ). Nas campanhas de outono, as concentrações extremas foram encontradas em maré morta: mínima de 2,45 mg/L e máxima de 7,94 mg/L. Já nas campanhas de primavera a concentração mínima foi de 1,31 mg/L em maré viva e a concentração máxima foi de 8,73 mg/L em maré morta.

Entre marés, os valores de maré viva da primavera foram significativamente inferiores ( $p<0,05$ ) aos de maré viva de outono, enquanto que em maré morta, os valores de outono foram significativamente inferiores ( $p<0,05$ ) aos de maré morta de primavera.



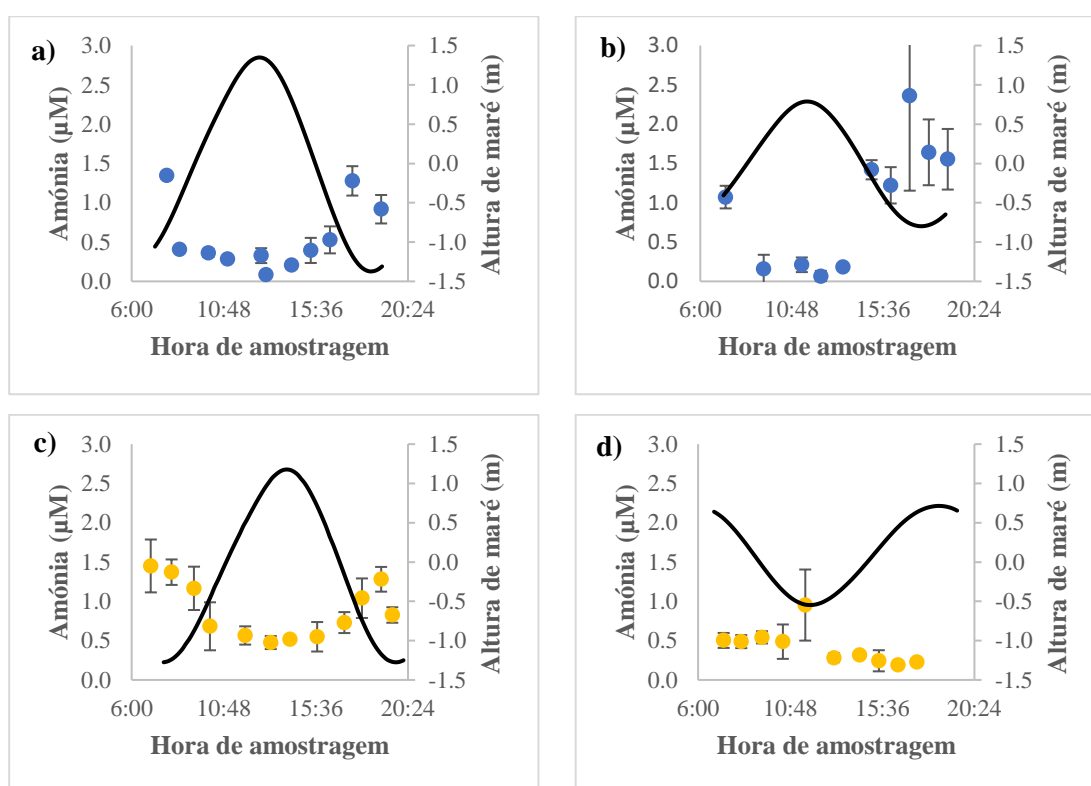
**Figura 3.11** - Variabilidade sazonal dos sólidos em suspensão totais (outono, a azul, e primavera, a amarelo) durante as condições de maré viva (A e C) e maré morta (B e D) na Barra da Armona.

Para as frações dos sólidos em suspensão (Figura 3.12), existem diferenças significativas entre ambas as campanhas de primavera ( $p < 0,05$ ), em que na maré morta os valores foram superiores aos de maré viva. No entanto não existem diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) quer entre ambas as campanhas de outono, quer entre as duas marés mortas e entre ambas as de marés vivas (outono e primavera). Na estação de outono a percentagem da fração orgânica variou cerca de 15 a 30%, enquanto a fração inorgânica foi superior e variou cerca de 70 a 85%. Na primavera, tanto em maré viva como em maré morta, a percentagem da fração orgânica variou entre 10 e 40%.



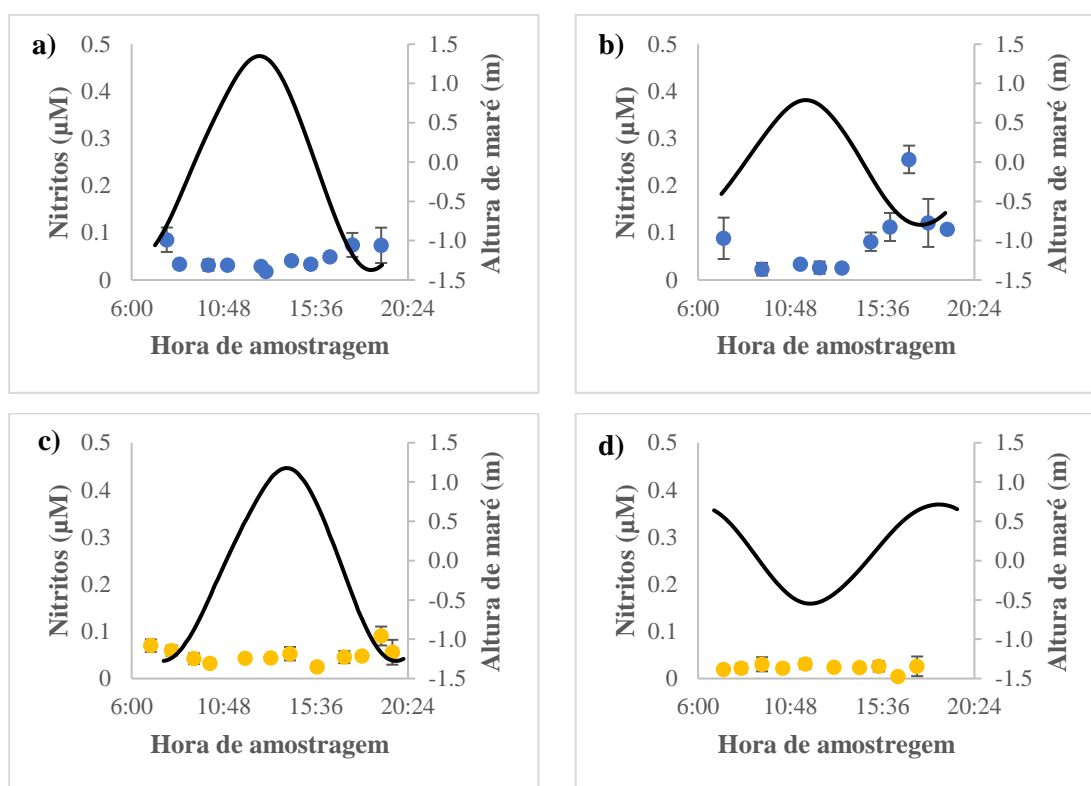
**Figura 3.12** - Variabilidade sazonal da percentagem de sólidos em suspensão orgânicos (círculos) e inorgânicos (triângulos) (outono, a azul, e primavera, a amarelo) durante as condições de maré viva (A e C) e maré morta (B e D), na Barra da Armonia.

Para a amónia (Figura 3.13), não ocorreram diferenças significativas entre as marés de outono, ( $p>0,05$ ). O valor de concentração mínimo foi de  $0,06 \mu\text{M}$  na maré morta e a concentração máxima foi de  $2,36 \mu\text{M}$  também para a maré morta. Já na primavera, as concentrações foram significativamente superiores na maré viva ( $p<0,05$ ). A concentração mínima foi de  $0,19 \mu\text{M}$ , para a maré morta e a concentração máxima foi de  $1,45 \mu\text{M}$  para a maré viva. Comparando as marés vivas, os valores de primavera foram globalmente superiores aos de outono ( $p<0,05$ ). No entanto, para as marés mortas não existem diferenças significativas entres os valores ( $p>0,05$ ).



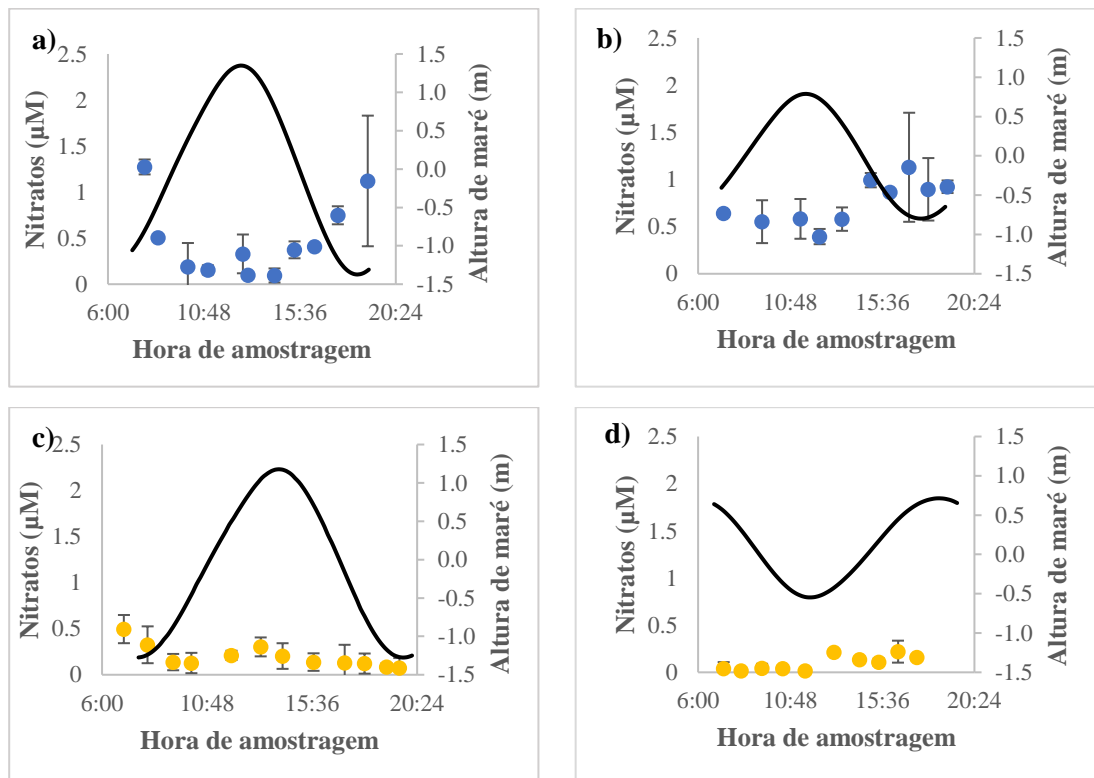
**Figura 3.13** - Variabilidade sazonal da amónia (outono, a azul, e primavera, a amarelo) durante as condições de maré viva (A e C) e maré morta (B e D), na Barra da Armona.

Para os dados de nitritos (Figura 3.14) não existem diferenças significativas entre as marés de outono ( $p>0,05$ ), mas houve diferenças significativas entre marés de primavera, em que a maré viva é superior maré morta ( $p<0,05$ ). A concentração mínima de nitritos para a estação de outono foi de  $0,02 \mu\text{M}$  tanto para a maré viva como para a maré morta, a concentração máxima foi de  $0,26 \mu\text{M}$  para a maré viva. Para a primavera a concentração mínima foi de  $0,04 \mu\text{M}$  para a maré morta e a concentração máxima foi de  $0,09 \mu\text{M}$  em maré viva. Os valores de nitritos em maré morta foram superiores no outono ( $p<0,05$ ). Entre marés vivas não existiram diferenças significativas ( $p>0,05$ ).



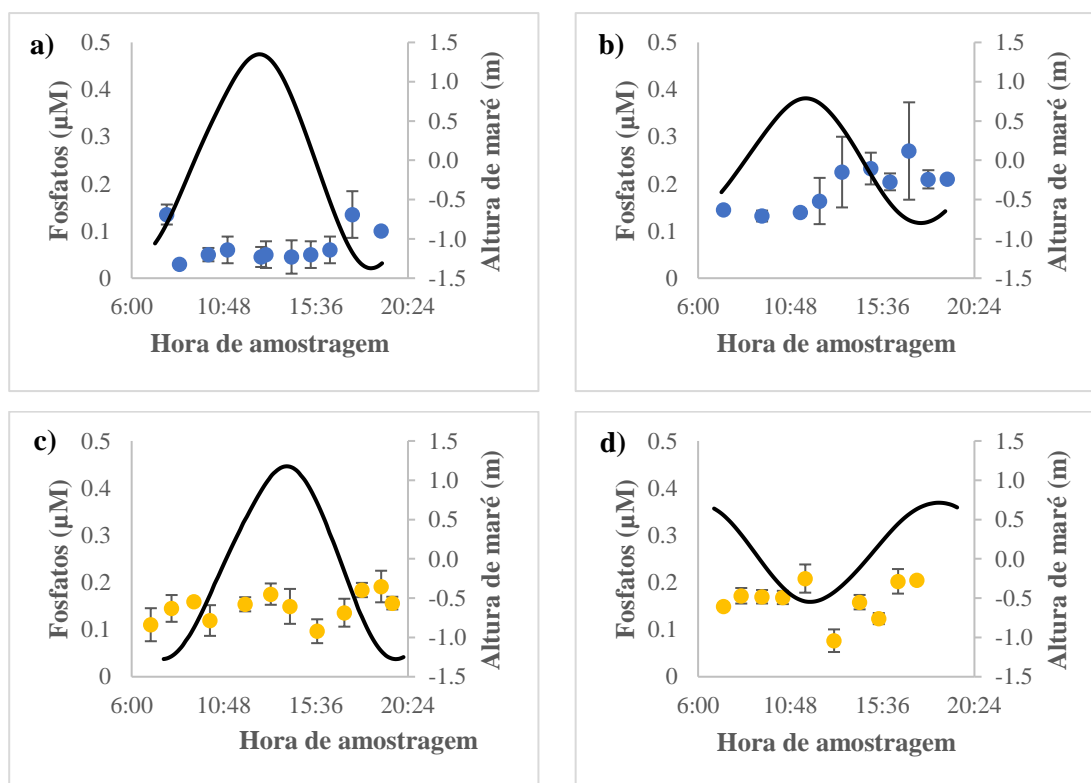
**Figura 3.14** - Variabilidade sazonal dos nitritos ( $\mu\text{M}$ ) (outono, a azul, e primavera, a amarelo) durante as condições de maré viva (A e C) e maré morta (B e D), na Barra da Armona.

Para os nitratos (Figura 3.15), nas campanhas de outono as concentrações em maré morta foram significativamente superiores às de maré viva ( $p < 0,05$ ). A concentração mínima foi de  $0,09 \mu\text{M}$ , para a maré viva e máxima de  $1,27 \mu\text{M}$ , também para a maré viva. Já para as campanhas de primavera, não ocorreram diferenças significativas entre os valores ( $p > 0,05$ ). A concentração mínima foi de  $0,01 \mu\text{M}$  em maré morta e máxima de  $0,50 \mu\text{M}$  em maré viva. Relativamente à maré viva os valores de outono foram significativamente superiores aos de primavera, tal como os de maré morta ( $p < 0,05$ ).



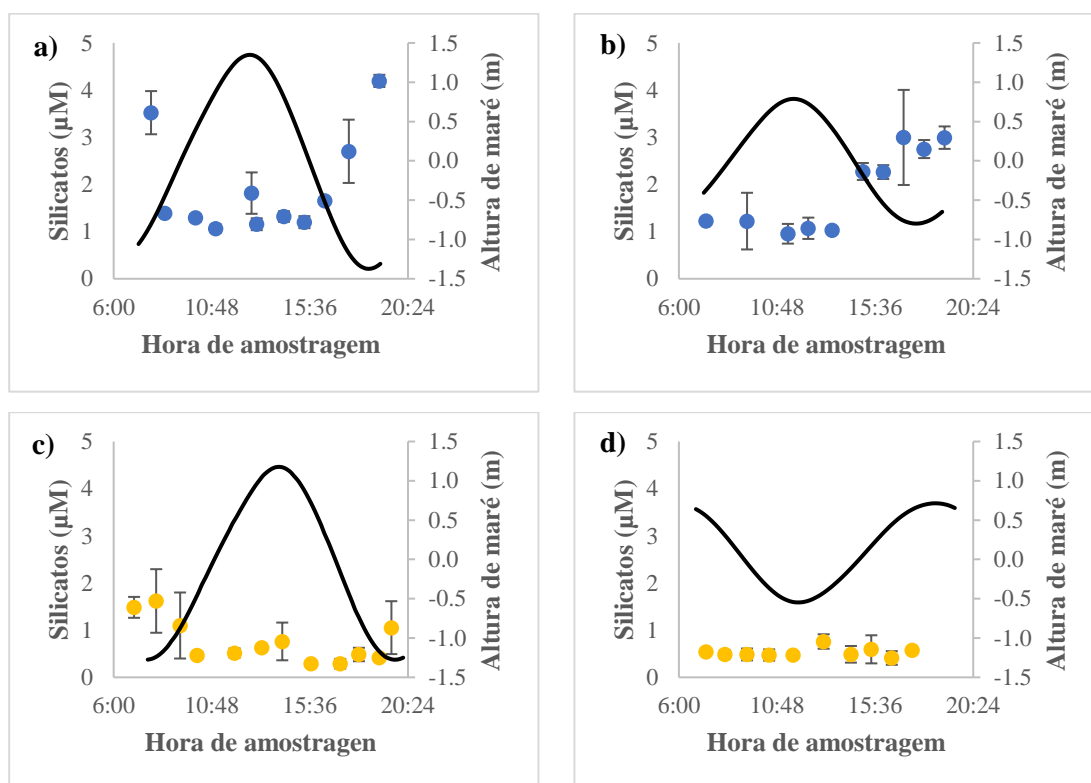
**Figura 3.15** - Variabilidade sazonal dos nitratos (outono, a azul, e primavera, a amarelo) durante as condições de maré viva (A e C) e maré morta (B e D), na Barra da Armona.

No que diz respeito aos fosfatos (Figura 3.16), para as campanhas de outono, as concentrações em maré morta foram significativamente superiores às de maré viva ( $p < 0,05$ ). A concentração mínima para a estação de outono foi de  $0,03 \mu\text{M}$  para a maré viva e a concentração máxima de  $0,27 \mu\text{M}$  para a maré morta. Já para as campanhas de primavera não existiram diferenças significativas entre si ( $p > 0,05$ ). Nas campanhas de primavera, os valores extremos foram encontrados em maré morta, com a concentração mínima de  $0,08 \mu\text{M}$  e a concentração máxima de  $0,21 \mu\text{M}$ . Entre condição de maré, não existiram diferenças significativas entre marés mortas ( $p > 0,05$ ) mas sim entre marés vivas, em que os valores de primavera foram superiores aos de outono ( $p < 0,05$ ).



**Figura 3.16** - Variabilidade sazonal dos fosfatos (outono, a azul, e primavera, a amarelo) durante as condições de maré viva (A e C) e maré morta (B e D), na Barra da Armona.

Relativamente aos dados de silicatos (Figura 3.17), não existiram diferenças significativas entre as campanhas quer de outono quer de primavera, ( $p>0,05$ ). A concentração mínima para a estação de outono foi de  $0,95 \mu\text{M}$  para a maré morta e máxima de  $4,2 \mu\text{M}$  em maré viva. Para a estação de primavera, a concentrações mínima de  $0,29 \mu\text{M}$  e máxima de  $1,62 \mu\text{M}$  registaram-se em maré viva. Entre condições de maré quer para maré morta, bem como para a maré viva as concentrações foram significativamente superiores no outono.



**Figura 3.17** - Variabilidade sazonal dos silicatos (outono, a azul, e primavera, a amarelo) durante as condições de maré viva (A e C) e maré morta (B e D), na Barra da Armona.

### 3.4. Correlação entre variáveis em maré viva e maré morta nas campanhas de outono e primavera

Para melhor perceber de que forma os parâmetros estudados se correlacionam entre si em maré viva e morta, no outono e na primavera foram analisadas as matrizes de correlação apresentadas nas Tabela 3.1 Tabela 3.2 Tabela 3.3 e Tabela 3.4 onde são indicadas somente as correlações significativas ( $p<0,05$ ).

Na maré morta de outono (Tabela 3.1), pode-se verificar que existe um maior número de correlações significativas e mais fortes. Houve apenas correlações significativas negativas da temperatura com os nutrientes e da clorofila *a* com os fosfatos e silicatos. Estas últimas mostram que durante o crescimento do fitoplâncton há um consumo importante destes dois nutrientes, enquanto as primeiras indicam que os valores mais elevados de concentração de nutrientes correspondem aos valores mais baixos de temperatura decorrentes no início do dia. Registaram-se ainda correlações positivas dos nutrientes entre si, que mostram que a fonte destes tem a mesma origem, assim como entre a concentração de oxigénio e os sólidos em suspensão, o que indica que os sólidos devem corresponder a células de fitoplâncton capazes de produzir oxigénio dissolvido e/ou à hora de maior concentração de oxigénio dissolvido correspondente à baixa-mar, altura em que as concentrações de sólidos em suspensão também é máxima. A correlação positiva dos sólidos com os silicatos e com a amónia também se pode dever ao mesmo efeito, em que as concentrações máximas correspondem ao período da baixa-mar e os mínimos à preia-mar.

**Tabela 3.1** - Correlações significativas entre os parâmetros de temperatura, salinidade, pH, oxigénio dissolvido, sólidos em suspensão, clorofila *a*, fosfatos, silicatos, amónia, nitritos e nitratos, para a maré morta de outono.

	Temp	Sal	pH	O <sub>2</sub>	SS	Chl <i>a</i>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SiO <sub>4</sub> <sup>4-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>+</sup>
<b>Temp</b>	1.00										
<b>Sal</b>	<b>0.61</b>	1.00									
<b>pH</b>		<b>0.69</b>	1.00								
<b>O<sub>2</sub></b>				1.00							
<b>SS</b>				<b>0.63</b>	1.00						
<b>Chl <i>a</i></b>						1.00					
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>						<b>-0.82</b>	1.00				
<b>SiO<sub>4</sub><sup>4-</sup></b>	<b>-0.62</b>			<b>0.81</b>		<b>-0.61</b>	<b>0.72</b>	1.00			
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	<b>-0.76</b>			<b>0.58</b>			<b>0.72</b>	<b>0.92</b>	1.00		
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	<b>-0.65</b>						<b>0.70</b>	<b>0.80</b>	<b>0.93</b>	1.00	
<b>NO<sub>3</sub><sup>+</sup></b>	<b>-0.65</b>						<b>0.79</b>	<b>0.92</b>	<b>0.95</b>	<b>0.85</b>	1.00

Para a maré viva de outubro (Tabela 3.2), as correlações significativas mostram que nesta condição existiram menos parâmetros correlacionados, apesar das existentes serem mais fortes. A temperatura e a salinidade comportaram-se de uma maneira muito semelhante, obtendo uma correlação significativa positiva entre si e ambos apresentam



correlações negativas com os nutrientes. Tal como em maré morta, os nutrientes relacionaram-se positivamente entre si, por terem origem na mesma fonte.

**Tabela 3.2-** Correlações significativas entre os parâmetros de temperatura, salinidade, pH, oxigénio dissolvido, sólidos em suspensão, clorofila *a*, fosfatos, silicatos, amónia, nitritos e nitratos, para a maré viva de outono.

	Temp	Sal	pH	O <sub>2</sub>	SS	Chl <i>a</i>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SiO <sub>4</sub> <sup>4-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>+</sup>
<b>Temp</b>	1.00										
<b>Sal</b>	<b>0.82</b>	1.00									
<b>pH</b>			1.00								
<b>O<sub>2</sub></b>				1.00							
<b>SS</b>					1.00						
<b>Chl <i>a</i></b>						1.00					
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	<b>-0.66</b>	<b>-0.61</b>					1.00				
<b>SiO<sub>4</sub><sup>4-</sup></b>	<b>-0.77</b>	<b>-0.69</b>					<b>0.81</b>	1.00			
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	<b>-0.83</b>	<b>-0.73</b>					<b>0.95</b>	<b>0.84</b>	1.00		
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	<b>-0.78</b>	<b>-0.70</b>					<b>0.91</b>	<b>0.89</b>	<b>0.95</b>	1.00	
<b>NO<sub>3</sub><sup>+</sup></b>	<b>-0.89</b>	<b>-0.72</b>					<b>0.81</b>	<b>0.93</b>	<b>0.90</b>	<b>0.90</b>	1.00

Para a maré morta de primavera (Tabela 3.3), apenas existiram algumas correlações significativas, maioritariamente negativas. As correlações positivas restringem-se à temperatura com o oxigénio, que coincidem com o início da tarde, o pH com a clorofila *a*, o que pode refletir que com o aumento da clorofila *a* há remoção de CO<sub>2</sub> da água e o pH sobe, e ao oxigénio dissolvido com os nitratos numa altura em que este nutriente foi mínimo.

**Tabela 3.3 -** Correlações significativas entre os parâmetros de temperatura, salinidade, pH, oxigénio dissolvido, sólidos em suspensão, clorofila *a*, fosfatos, silicatos, amónia, nitritos e nitratos, para a maré morta de primavera.

	Temp	Sal	pH	O <sub>2</sub>	SS	Chl <i>a</i>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SiO <sub>4</sub> <sup>4-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>+</sup>
<b>Temp</b>	1.00										
<b>Sal</b>		1.00									
<b>pH</b>		<b>-0.71</b>	1.00								
<b>O<sub>2</sub></b>	<b>0.68</b>			1.00							
<b>SS</b>					1.00						
<b>Chl <i>a</i></b>		<b>-0.58</b>	<b>0.59</b>			1.00					
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>							1.00				
<b>SiO<sub>4</sub><sup>4-</sup></b>							<b>-0.80</b>	1.00			
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	<b>-0.70</b>			<b>-0.78</b>					1.00		
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>										1.00	
<b>NO<sub>3</sub><sup>+</sup></b>				<b>0.84</b>					<b>-0.78</b>		1.00

Em relação à maré viva de primavera (Tabela 3.4), houve mais correlações significativas positivas do que em maré morta. A temperatura foi o parâmetro que apresentou mais correlações significativas, tendo correlações positivas com a salinidade, pH e oxigénio dissolvido e negativas com silicatos e nitratos.

**Tabela 3.4-** Correlações significativas entre os parâmetros de temperatura, salinidade, pH, oxigénio dissolvido, sólidos em suspensão, clorofila *a*, fosfatos, silicatos, amónia, nitritos e nitratos, para a maré viva de primavera.

	Temp	Sal	pH	O <sub>2</sub>	SS	Chl <i>a</i>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SiO <sub>4</sub> <sup>4-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>+</sup>
<b>Temp</b>	1.00										
<b>Sal</b>	<b>0.60</b>	1.00									
<b>pH</b>	<b>0.65</b>		1.00								
<b>O<sub>2</sub></b>	<b>0.91</b>			1.00							
<b>SS</b>		<b>0.88</b>			1.00						
<b>Chl <i>a</i></b>						1.00					
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>							1.00				
<b>SiO<sub>4</sub><sup>4-</sup></b>	<b>-0.60</b>							1.00			
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>						<b>-0.77</b>		<b>0.64</b>	1.00		
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>		<b>0.61</b>			<b>0.74</b>				<b>0.67</b>	1.00	
<b>NO<sub>3</sub><sup>+</sup></b>	<b>-0.67</b>		<b>-0.92</b>	<b>-0.59</b>				<b>0.64</b>			1.00

### 3.5. Cálculo dos prismas de maré e transporte de massa de clorofila *a*, nutrientes, e sólidos em suspensão

Os prismas de maré e os transportes de massa de clorofila *a*, nutrientes e sólidos em suspensão estão apresentados na Tabela 3.3.5 para ambas as campanhas de outono, e na Tabela 3.3.6 para as correspondentes de primavera.

Para as várias campanhas, como seria de esperar, os volumes de enchente e de vazante foram superiores na maré viva. No entanto, o prisma residual foi superior em maré morta. A barra da Armona nas campanhas de outono em maré viva funcionou como barra de enchente em termos de caudal residual e em maré morta funcionou como barra de vazante. É de salientar que a direção do transporte dos compostos analisados nem sempre seguiu a direção do fluxo residual da água. Por exemplo, na campanha de outono, em maré viva, a barra da Armona comportou-se como um barra de enchente, com importação de silicatos (34 kg) e sólidos em suspensão (~52 ton), mas houve exportação de clorofila (0.5 kg), fosfatos (~3 kg), nitritos (~2 kg) e amónia (~16 kg). Em maré morta o fluxo residual água reverteu-se e a barra da Armona funcionou como barra de vazante com exportação de todos os compostos, exceto que houve importação da clorofila *a* (1 kg) e sólidos em

suspensão (~1 ton). Entre ambas as condições de maré, verificou-se uma exportação consistente de fosfatos, nitritos e amónia e importação de sólidos em suspensão.

**Tabela 3.3.5** – Prisma de maré de enchente, vazante e residual ( $m^3$ ) e transportes de enchente, de vazante e residual dos nutrientes ( $SiO_4^{4-}$  - silicatos;  $PO_4^{3-}$  - fosfatos;  $NO_3^-$  - nitratos;  $NO_2^-$  - nitritos e  $NH_4^+$  - nitratos;), Sólidos em Suspensão (SS) e clorofila *a* (Chl *a*) através da barra da Armona, durante o Outono de 2011, em situação de maré viva (23 de novembro) e maré morta (6 de dezembro).

Campanha	Maré	Prisma ( $m^3$ )	Transportes						
			Chl <i>a</i> (kg)	$SiO_4^{4-}$ (kg)	$PO_4^{3-}$ (kg)	$NO_3^-$ (kg)	$NO_2^-$ (kg)	$NH_4^+$ (kg)	SS (t)
23Nov11 - MV	Enchente	$3,18 \times 10^7$	5,1	1336,0	57,8	148,7	15,6	185,5	181,6
	Vazante	$-3,01 \times 10^7$	-5,6	-1302,0	-60,5	-144,7	-17,6	-201,3	-129,3
	Residual	$1,71 \times 10^6$	-0,5	34,0	-2,7	4,0	-1,9	-15,8	52,3
6Dez11 - MM	Enchente	$1,37 \times 10^7$	3,6	463,5	58,6	124,2	7,2	72,3	67,7
	Vazante	$-1,99 \times 10^7$	-2,7	-996,1	-135,2	-219,2	-21,3	-251,2	-66,4
	Residual	$-6,16 \times 10^6$	1,0	-532,6	-76,6	-95,0	-14,1	-178,9	1,4

Para as campanhas de primavera, tal como para as de outono, os prismas de enchente e de vazante foram maiores em maré viva, mas o fluxo residual da água foi superior em maré morta. Para as campanhas de primavera a barra da Armona funcionou como barra de enchente, importando a maioria dos compostos apesar de mesmo assim exportar amónia para ambos os ciclos de maré e sólidos em suspensão em maré viva.

**Tabela 3.3.6** - Prisma de maré de enchente, vazante e residual ( $m^3$ ) e transportes de enchente, de vazante e residual dos nutrientes ( $SiO_4^{4-}$  - silicatos;  $PO_4^{3-}$  - fosfatos;  $NO_3^-$  - nitratos;  $NO_2^-$  - nitritos e  $NH_4^+$  - nitratos;), Sólidos em Suspensão (SS) e clorofila *a* (Chl *a*) através da barra da Armona, durante o primavera de 2012, em situação de maré viva (21 de março) e maré morta (29 de março).

Campanha	Maré	Prisma ( $m^3$ )	Transportes						
			Chl <i>a</i> (kg)	$SiO_4^{4-}$ (kg)	$PO_4^{3-}$ (kg)	$NO_3^-$ (kg)	$NO_2^-$ (kg)	$NH_4^+$ (kg)	SS (t)
21Mar12 - MV	Enchente	$2,74 \times 10^7$	21,4	473,4	122,7	83,8	15,4	247,2	55,9
	Vazante	$-2,62 \times 10^7$	-15,8	-237,9	-99,8	-45,4	-15,0	-254,4	-67,7
	Residual	$1,21 \times 10^6$	5,5	235,5	22,9	38,4	0,4	-7,2	-11,7
29Mar12 -MM	Enchente	$2,22 \times 10^7$	34,4	339,1	115,5	50,3	6,4	76,8	140,2
	Vazante	$-1,60 \times 10^7$	-27,3	-218,6	-85,4	-6,9	-5,6	-123,1	-106,4
	Residual	$6,20 \times 10^6$	7,0	120,5	30,1	43,4	0,8	-46,4	33,8

Comparativamente entre estações do ano (Tabela 3.3.5 e Tabela 3.3.6), a quantidade de clorofila *a* que entrou pela barra em enchente foi mais elevada na primavera (*ca.* 20 kg) do que no outono (*ca.* 5 kg), o que se refletiu nos valores de transporte residual de clorofila, com importação de 5 a 7 kg na primavera e entre 0.5 a 1 kg no outono. Globalmente, para os restantes parâmetros, as quantidades de compostos trocados nas campanhas de outono foram superiores aos correspondentes das campanhas da primavera. A quantidade máxima de sólidos em suspensão importada no outono (52 toneladas) foi superior à de primavera (~34 toneladas) tal como a quantidade máxima de silicatos exportada no outono (~530 kg) foi cerca do dobro da importada na primavera (~235 kg). Para os restantes nutrientes (Tabela 3.3.5 e Tabela 3.3.6) também se verificaram trocas superiores no outono quando comparado com a primavera. No entanto, é de salientar que os valores residuais foram globalmente superiores nas marés mortas comparativamente com a marés vivas.

## Capítulo 4 -Discussão

### 4.1. Influência das condições meteorológicas e dos mecanismos forçadores na variabilidade das características da água

A variabilidade dos resultados da caracterização da água entre condições de maré e entre as campanhas de Outono e Primavera (as estações do ano mais produtivas), não dependem somente dos processos de entrada de matéria associada a períodos de precipitação e escoamento superficial (Salles *et al.*, 2005), de processos internos de interação sedimento-água, biológicos e da variabilidade da altura da maré, mas também de processos externos, como o forçamento físico do vento e dos processos de mesoescala (afloramento costeiro ou contracorrente) (Barbosa, 2010; Kjerfve e Magill, 1989; Newton e Mudge, 2003).

Como estes sistemas lagunares têm normalmente uma área muito grande em relação com a profundidade, um forçamento físico, como o vento, que afete a coluna de água pode condicionar as correntes, tal como a súbita paragem deste forçamento físico pode resultar na paragem da corrente, por causa do atrito do fundo (Smith, 1990). Um dos principais forçadores para a variabilidade das características da água é o vento. A corrente induzida pelo vento, em certos sistemas lagunares, pode até mesmo dominar as correntes de maré (Smith, 1990b). Para a Ria Formosa, segundo (Fabião *et al.*, 2014) a corrente induzida pelo vento pode influenciar a distribuição espacial de vários parâmetros e aumentar ou diminuir o de transporte de matéria nas barras, dependendo da orientação da barra relativamente à direção do vento.

A corrente induzida pela maré no sistema lagunar é o principal responsável pelo transporte e dispersão de matéria, quer em suspensão quer dissolvida, o que vai influenciar claramente as características da água bem como a sua renovação (Smith, 2001).

O afloramento costeiro ao trazer águas mais frias, mais ricas em CO<sub>2</sub> e mais ricas em nutrientes para a superfície, pode provocar alterações relevantes especialmente em ambientes pobres em nutrientes. Assim o afloramento costeiro pode influenciar o sistema em vários fatores como físicos (temperatura), químicos (disponibilização de nutrientes) e biológicos, uma vez que a entrada de nutrientes pode desencadear desenvolvimento do fitoplâncton (Kjerfve, 1994).

Os dados registados nos PT's, bem como os observados nas imagens de satélite, mostram que no decorrer das várias campanhas ocorreu afloramento costeiro, tal como evidenciado na Figura 3.3, fenómeno este mais forte nas semanas que antecederam as campanhas de primavera. Nesta altura ocorreu uma diminuição da temperatura de aproximadamente 2 a 3°C junto à costa sul portuguesa, comparativamente com a temperatura registada ao largo.

Um dos efeitos do afloramento costeiro é o posterior aumento de clorofila *a*, pelo rápido crescimento de fitoplâncton, associada à disponibilidade de nutrientes, tal como observado na Figura 3.4 e confirmado pela descida da temperatura nas imagens de satélite para a temperatura superficial do mar (SST; Figura 3.3). Como se pode confirmar nas imagens de satélite para a clorofila *a* (Figura 3.4), os maiores aumentos de clorofila *a* ocorreram após os eventos de afloramento costeiro, nas semanas anteriores às 2 campanhas (uma semana antes de 21/03 e duas antes de 29/03), podendo-se assim afirmar que os nutrientes foram o fator mais limitante para o crescimento do fitoplâncton. Com a entrada de nutrientes no sistema ocorreu um rápido crescimento de fitoplâncton. A seguir a este aumento de clorofila *a* ocorreu diminuição de nutrientes através do seu consumo, tal como se confirma através das baixas concentrações de nutrientes medidos (Figura 3.13, Figura 3.14, Figura 3.15 e Figura 3.16), o que por sua vez levou a um aumento de oxigénio (Figura 3.8). Por outro lado, os valores mais elevados de clorofila *a*, medidos em maré morta na primavera (Figura 3.4 g)), no fim de março parecem ter coincidido com o “bloom” primaveril, típico em março nos sistemas temperados, atendendo às elevadas concentrações ao largo da faixa costeira ao longo de toda a costa sul e SW de Portugal, e que também se propagam para dentro do Golfo de Cadiz .

#### **4.2. Variabilidade da qualidade da água na barra de Armona, em maré viva e maré morta, em condições de outono (2011) e primavera (2012)**

Para melhor perceber os resultados obtidos, bem como as causas destas variações, comparam-se de seguida para ambas as condições de maré e ambas as estações do ano.

Para a temperatura pode-se verificar que esta seguiu o ciclo sazonal, com temperaturas mais elevadas no outono do que no início da primavera. É também de referir a ocorrência de afloramento costeiro na primavera, contribuindo certamente para provocar arrefecimento das águas. No outono, os valores, ao longo do ciclo de maré também

seguiram o ciclo diário com valores máximos perto do meio dia. Para as campanhas de primavera, na maré viva a temperatura foi subindo ao longo do dia e na maré morta manteve-se mais estável, cerca dos 16 °C. Esta temperatura mais baixa em maré viva pode ser explicada pela influência de um evento afloramento costeiro mais intenso do que em maré morta.

A salinidade, para o outono, apresentou um padrão de variação em maré viva diferente do de maré morta. Para a maré viva, pode-se sugerir que a água dentro da Ria Formosa é menos salina do que a do largo, pois durante o ciclo de enchente, os valores foram superiores à situação de vazante. Isto pode ser explicado porque houve precipitação nos dias anteriores à campanha (48 mm no dia 18, 79 mm no dia 19 e 6 mm no dia 22 (dados adquiridos em DRAP Algarve <http://www.drapalgarve.gov.pt>). Na maré morta de outono, tal como, na primavera não houve um padrão evidente, mantendo-se a salinidade com valores estáveis ao longo do ciclo de maré. Tal sugere assim que a água da Ria é semelhante à do largo, o que demonstra que nesta zona não existem contribuições importantes de água doce. Os valores mais elevados de salinidade durante as marés mortas, tanto para a primavera como para outono, podem ser explicados pelo maior tempo de residência e possível aumento da taxa de evaporação, mais relevante neste caso do que o efeito de precipitação e/ou de escoamento superficial (Barnes, 1980).

Para o pH, os valores seguiram um padrão semelhante para as duas marés de outono, sendo ligeiramente maiores na maré morta. Na primavera os valores comportaram-se de maneira semelhante, mas em maré viva ocorreram os valores mais elevados. Os valores de maré morta, abaixo dos restantes valores, parecem refletir a ocorrência de afloramento costeiro, com a subida das águas mais ricas em CO<sub>2</sub> à superfície. Os valores de pH medidos no início de todas as campanhas foram ligeiramente abaixo dos restantes. Isto pode ser explicado pelo início do dia solar em que a taxa de respiração pode ser superior à de fotossíntese. Este último processo vai aumentando ao longo do dia, diminuindo o CO<sub>2</sub> e aumentando o oxigénio, e por consequência o pH.

Relativamente à variação do oxigénio dissolvido, as concentrações de outono seguiram um padrão semelhante em ambas as campanhas, com um aumento ao longo do dia. Tal pode ser explicado pelo aumento da fotossíntese ao longo do dia, como explicado anteriormente. Nas campanhas de primavera os valores foram superiores aos de outono,

o que parece estar relacionado com a maior densidade de fitoplâncton, como expresso pela concentração de clorofila *a*.

A clorofila *a* foi mais elevada na primavera do que no outono ( $< 1 \mu\text{g/L}$ ; Figura 3.10), como confirmado pelas imagens de satélite, tanto junto à costa como ao largo da costa algarvia (Figura 3.4). Tal pode ser explicado por condições meteorológicas mais favoráveis, não só pelo aumento de nutrientes fornecidos pelo afloramento costeiro, mas também pelo “bloom” primaveril que pode ter ocorrido nesta altura, como referido anteriormente. A clorofila *a* atingiu valores máximos (*ca.*  $2 \mu\text{g/L}$ ) na primavera, na campanha de maré morta, no final de março. Estes valores foram superiores perto da preia-mar e inferiores perto da baixa-mar (Figura 3.10). Isto justifica o transporte de clorofila *a* do largo para a Ria Formosa em enchente, como confirmado nas imagens de satélite, onde se observa a existência de um “bloom” ao largo da costa. A clorofila *a* foi superior em maré morta, o que pode ser explicado pelo maior tempo de residência, em condições menos dinâmicas, propício ao desenvolvimento do fitoplâncton.

Os sólidos em suspensão no outono foram muito semelhantes ao longo do ciclo de maré, e entre os dois ciclos de maré. Já na primavera, em maré viva houve uma concentração menor que em maré morta. Neste último ciclo de maré ocorreu a maior concentração de todas as campanhas, o que parece refletir o aumento de clorofila *a* associado ao desenvolvimento do fitoplâncton referido anteriormente. Relativamente às concentrações de nutrientes (amónia, nitritos, nitratos, fosfatos e silicatos) verifica-se uma clara diferenciação entre os períodos de enchente e de vazante, tanto para as campanhas de outono como as campanhas de primavera. Existe uma maior concentração de nutrientes no período de vazante e menor na enchente, o que sugere que a Ria Formosa fornece nutrientes por processos internos, por difusão sedimento-água e que disponibiliza nutrientes para o crescimento fitoplantónico no oceano adjacente. Este efeito de diminuição de nutrientes em enchente, em antifase com a altura da maré é muitas vezes reconhecido na Ria Formosa como efeito de diluição (Newton, 1995; Vale e Falcão, 2003), uma vez que a água do oceano que entra pelas barras no período de enchente é, normalmente, mais pobre em nutrientes. É possível também verificar uma diminuição dos nutrientes nas horas diurnas, pois é na altura do dia onde o fitoplâncton se encontra mais ativo. As concentrações dos nutrientes foram mais baixas na primavera devido a um consumo mais intenso por parte do fitoplâncton, como reflexo do “bloom” referido anteriormente.



Para alguns parâmetros, a água da Ria Formosa, junto da Barra da Armona, é muito semelhante à do oceano adjacente, dada a forte interconetividade e troca de matéria através desta barra associada ao regime mesomareal que ocorre na Ria Formosa, responsável pela grande renovação das águas ao longo dos ciclos de maré.

Quanto à correlação dos parâmetros, no cômputo geral, nas campanhas de outono houve mais correlações significativas, com relações inversas entre a temperatura e os nutrientes e positivas entre nutrientes. Já na primavera, a ocorrência de uma maior atividade biológica pode ter mascarado algumas das relações. No entanto, pode-se dizer que houve correlações significativas mais fortes nas marés vivas do que nas marés mortas, dado que a variação da altura da coluna de água e o volume de água trocado são mais pronunciados, fazendo com que as variações entre os parâmetros sejam mais notórias.

### **4.3. Comparação com outros estudos**

#### **4.3.1. Comparação da qualidade da água com outros estudos na Ria Formosa**

Embora existam muitos trabalhos na Ria Formosa sob várias perspetivas científicas, não existem muitos no âmbito da dinâmica de matéria dissolvida e particulada que incluam cálculos de balanços de massa, ou seja, de transportes de nutrientes, sólidos em suspensão e clorofila *a*. Relativamente à barra da Armona pouco se conhece sobre trabalhos deste tipo. No entanto, existem alguns trabalhos relativos a qualidade de água reportados para a barra da Armona (Cravo *et al.*, 2019, 2014; Falcão, 1997; Newton, 1995; Vale e Falcão, 2003).

Comparando os resultados deste estudo com dados contemporâneos obtidos nas restantes barras do setor Oeste da Ria Formosa (Ancão e Faro-Olhão, Cravo *et al.*; 2019, Rosa *et al.*, 2019 e Rosa, 2016), entre 2011 e 2013, os valores dos parâmetros analisados foram semelhantes aos das outras duas barras porque se trata de três barras em permanente ligação com o oceano adjacente, com características semelhantes nas três zonas.

Temporalmente, a temperatura da água foi mais elevada no outono, tal como encontrado por Falcão (1997) e Newton (1995), nos seus trabalhos conduzidos nos anos 80 na zona das barras do setor oeste e como Barbosa (2010), que compilou médias mensais para vários parâmetros de 1967 a 2004, considerando também a zona mais externa da Ria, onde as barras se englobam. A gama de valores de temperatura da água

registada enquadra-se nos valores já reportados por esses autores para a Ria Formosa. Quanto à salinidade verifica-se que os valores obtidos por vários autores com medições na Ria Formosa, como por exemplo Falcão (1997), Newton (1995) e Barbosa (2010), entre outros, são semelhantes aos do presente estudo, com valores à volta de 36, sendo apenas ligeiramente inferiores na primavera, associados a períodos de maior precipitação em relação à registada durante as campanhas deste trabalho. Em relação ao pH, os valores variaram à volta de 8, como é típico de águas marinhas e como registado para a Ria Formosa por outros autores (Barbosa, 2010; Falcão, 1997; Newton, 1995). Tal como encontrado por Falcão (1997), os valores foram ligeiramente inferiores na primavera, o que, como já foi referido, pode estar associado a eventos de afloramento costeiro, que trazem à superfície águas de níveis mais profundos, mais ricas em CO<sub>2</sub>. O oxigénio dissolvido é um parâmetro variável, que depende não só da hora de dia, mas também da estação do ano. Barbosa (2010) e Falcão (1997) também encontraram concentrações de oxigénio dissolvido superiores na primavera, mas dentro da ordem de grandeza dos encontrados neste estudo, apesar de mais baixos do que nos anos 80. Os valores mais elevados de clorofila *a* na primavera também têm sido reportados por outros autores na Ria Formosa, tal como Barbosa (2010) e Falcão (1997). Há que referir que a gama de valores neste trabalho enquadra-se no intervalo reportado pelos autores referidos anteriormente para a Ria Formosa. Em geral, os nutrientes, variaram em antifase com a altura da maré e evidenciaram o efeito de diluição no período de enchente, tal como referido pelos autores já referidos anteriormente, apesar de no final dos anos 80 os valores de concentração dos nutrientes terem sido mais elevados do que no presente estudo (Barbosa, 2010; Newton, 1995).

Desta avaliação temporal, pode-se inferir que a qualidade da água na barra da Armona e nas outras barras da Ria Formosa têm vindo a melhorar dos anos 80 para 2011/2012.

#### **4.3.2 Comparação da Ria Formosa com outros sistemas lagunares**

Para outros sistemas lagunares em Portugal, compararam-se dados da Ria de Aveiro num período em 2001 para a condição de outono (novembro e dezembro) e de primavera (março), a partir do trabalho Lopes *et al.*(2007). Compararam-se ainda os dados deste trabalho com outro sistema lagunar, localizado em Espanha, no Mar Mediterrâneo, a lagoa costeira do Mar Menor, no outono de 2002 e primavera de 2003 (Conesa e Jiménez-Cárceles, 2007) e mais recentemente em 2016 (Santos-Echeandía *et al.*, 2019).

Comparativamente com a Ria de Aveiro, que apresenta o mesmo regime de maré que a Ria Formosa, verifica-se que aí existe uma maior concentração de nutrientes. Esta Ria, que desagua na costa noroeste de Portugal, sofre influência do rio Vouga, responsável por descargas elevadas de águas fluviais (Lopes *et al.*, 2007). Estas descargas são responsáveis pela geração de gradientes de salinidade e/ou estratificação (Flindt *et al.*, 1999), introduzindo neste sistema quantidades elevadas de nutrientes e poluentes de origem urbana, agrícola e industrial, tal como encontrado para outros sistemas estuarinos que sofrem pressões antropogénicas elevadas (Paerl *et al.*, 2006). Devido à reduzida profundidade e baixa taxa de renovação de água com o oceano adjacente, através de uma só barra, esta ria é vulnerável à ocorrência de eutrofização (Lopes *et al.*, 2007). Na barra de Aveiro, para as mesmas estações do ano, os valores de temperatura podem considerar-se relativamente semelhantes, apesar de na costa NW de Portugal, a temperatura da água ser ligeiramente mais baixa. Para a salinidade, os valores são mais baixos na Ria de Aveiro, por influência do rio Vouga, com os valores mais elevados a rondar 34 em preia-mar, enquanto em baixa-mar a salinidade atinge valores próximos dos 10. A clorofila *a*, foi superior na Ria de Aveiro para a situação de outono, altura em que se atingiu os 7 µg/L. Já para a situação de primavera, a barra da Armona já apresentou concentrações semelhantes às medidas na Ria de Aveiro, *ca* de 2 µg/L. A diferença de clorofila *a* entre a Ria de Aveiro e a Ria Formosa pode ser explicada pela maior disponibilidade de nutrientes (agricultura e outras fontes antropogénicas) que promove um maior crescimento do fitoplâncton.

A lagoa do Mar Menor está sujeita a um regime micromareal. É um dos sistemas com maior salinidade do Mar mediterrâneo, tem 3 conexões com o mar, sendo a que está localizada mais a norte uma ligação natural e a mais importante na ligação com o Mar Mediterrâneo. A barra mais a sul é a mais confinada e a que tem a água mais salgada. Devido às suas boas condições climatéricas e aos seus importantes recursos naturais, esta ria sofre grandes pressões de agricultura, pescas e turismo (Conesa e Jiménez-Cárceles, 2007). A temperatura na lagoa do Mar Menor é, em geral, mais elevada do que a da Ria Formosa, chegando a atingir 28 °C na primavera, muito acima dos valores típicos da Ria Formosa na mesma altura do ano. Também apresenta valores de salinidade muito acima dos da Ria Formosa, chegando a atingir valores recordes de 46 na estação de outono. Estes valores podem ser explicados pela fraca renovação das águas, e elevadas taxas de evaporação, especialmente mais a sul. Aqui a água sofre menor renovação, aumentando

assim a temperatura e salinidade. Esta lagoa está implantada no Mar Mediterrâneo que apresenta valores mais elevados de temperatura e de salinidade do que o oceano Atlântico, onde se encontra a Ria Formosa. Já a clorofila *a* em 2003 apresentou concentrações menores do que as da Ria Formosa, com cerca de 0,76 µg/L na primavera, enquanto no outono de 2002 as concentrações subiram para valores de 3,56 µg/L (Lloret *et al.*, 2008). Estudos realizados no Mar Menor concluíram que no início dos anos 2000 a água estava em boas condições, atendendo às concentrações relativamente baixas de nutrientes e de clorofila *a*, na região do Mediterrâneo tipicamente oligotrófico. Porém nos últimos anos, esta situação tem vindo a mudar, o que mostra o quanto estes sistemas estão ameaçados pelos eventos de contaminação e consequente eutrofização. Com as contínuas pressões antropogénicas, devido à agricultura intensiva, ao turismo crescente e à exploração de minas, em 2016 a água no Mar Menor ficou verde devido a “blooms” de fitoplâncton. Nessa altura, a turbidez aumentou, o que fez com que vegetação marinha não tivesse disponibilidade de luz suficiente, o que resultou numa mortalidade de 85% da vegetação (Santos-Echeandía *et al.*, 2019). Estes dados sugerem que a qualidade da água da Lagoa do Mar Menor tem vindo a diminuir nestes últimos 10-15 anos, o que também é agravado pela fraca renovação da água por o sistema ser micromareal.

#### **4.3.3 Comparação contemporânea de transportes de matéria entre o oceano e a barra da Armona com as outras barras do setor oeste da Ria Formosa**

Quanto ao transporte de massa dos vários parâmetros, tal como nas barras de Faro-Olhão (Cravo *et al.*, 2014; Cravo e Jacob, 2019; Jacob e Cravo, 2019; Rosa *et al.*, 2019; Rosa, 2016) e Ancão (Cravo *et al.*, 2019, 2014; Cravo e Jacob, 2019; Jacob e Cravo, 2019), as maiores quantidades, no seu geral, foram transportadas nas marés vivas, uma vez que o volume de água trocado durante estes ciclos de maré é superior ao de maré morta. O transporte de clorofila *a* foi superior nas campanhas de primavera, refletindo o desenvolvimento fitoplanctónico primaveril. Quanto à magnitude dessas trocas, as quantidades trocadas foram superiores na barra de Faro-Olhão, seguidas pela barra da Armona e por fim as trocadas pela barra do Ancão, de acordo com a diferença de volumes de água trocados em cada ciclo de maré, pela área da secção reta em cada uma dessas três barras, como referido em (Cravo *et al.* (2014), Rosa *et al.* (2019) e Rosa (2016),. Quanto às trocas de água, a barra da Armona comportou-se maioritariamente como uma barra de enchente no que respeita ao prisma de maré, exceto na maré morta de outono. As

quantidades transportadas dos restantes parâmetros seguiram, globalmente, esta tendência. No entanto, dada a interconectividade entre as três barras os padrões de importação e de exportação através das três barras não foram sempre iguais. Os silicatos foram superiores na estação de outono, tal como aconteceu no Ancão (Cravo *et al.*, 2014) e em Faro-Olhão (Rosa *et al.*, 2019; Rosa, 2016). A barra da Armona comportou-se como uma barra de vazante apenas na maré morta de outono, exportando a maior parte dos compostos, o que pode sugerir que esta barra fornece material para o oceano adjacente. Contudo, nas restantes campanhas e em particular na campanha da primavera, após afloramento costeiro que levou ao desenvolvimento do fitoplâncton, os nutrientes em especial foram consumidos no interior da Ria Formosa, e por isso foram globalmente importados a partir do oceano adjacente, exceto a amónia.

Ao contrário da barra de Armona, a barra do Ancão teve um comportamento predominantemente de vazante (Cravo *et al.*, 2014; Jacob e Cravo, 2019), enquanto a barra de Faro-Olhão teve um comportamento variável (Jacob e Cravo, 2019; Rosa *et al.*, 2019; Rosa, 2016).

Comparando os volumes de água trocados nas barras do sector oeste entre 2004 e 2007 (Pacheco, 2010), tal como seria de esperar atendendo à sua dimensão, a barra da Armona apresentou um caudal superior à barra de Ancão e inferior à barra de Faro-Olhão. O volume residual da barra de Faro-Olhão em maré viva foi superior ao das outras duas barras. Neste estudo, quer em maré viva quer em maré morta, a barra da Armona foi apontada como barra de vazante, tal como a barra de Ancão, enquanto a barra de Faro-Olhão foi considerada de enchente.

Dois estudos recentes, um que descreve a evolução hidráulica das barras do setor oeste de 2004 até 2013, tanto para as marés vivas como para as marés mortas (Jacob e Cravo, 2019) e outro que demonstra o papel das barras do setor oeste nas trocas com o oceano adjacente (Cravo e Jacob, 2019), referem que, o prisma na maré viva na barra da Armona aumentou, passando de  $2,11 \times 10^7$  m<sup>3</sup> em 2007 para  $2,74 \times 10^7$  m<sup>3</sup> em 2012, atingindo um máximo no prisma de enchente de 2011, com  $3,18 \times 10^7$  m<sup>3</sup>. Este aumento do prisma pode ser explicado pela migração e perda de eficiência hidráulica da barra do Ancão, que passou de  $8,28 \times 10^6$  m<sup>3</sup> em 2004 para  $3,59 \times 10^6$  m<sup>3</sup> em 2012. O prisma de maré da barra da Armona tem vindo a diminuir, passando dos  $-4,74 \times 10^6$  m<sup>3</sup> para os  $1,21 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, mudando assim o comportamento da barra, de barra de vazante para barra de enchente, tal como em maré morta. O prisma de maré na barra artificial de Faro-Olhão

tem aumentado ao longo dos últimos 10-11 anos, compensando a redução de eficiência hidráulica das barras naturais em termos de morfodinâmica e morfologia.

De forma a avaliar a contribuição da barra da Armona relativamente às outras duas barras do setor oeste, de seguida são comparados dados recolhidos em campanhas realizadas em dias consecutivos, na situação de outono e primavera, em ambas as situações de maré viva e maré morta (Cravo *et al.*, 2014; Cravo e Jacob, 2019; Jacob e Cravo, 2019; Rosa *et al.*, 2019; Rosa, 2016; Cravo, dados não publicados). Como se pode ver na Tabela 4.1, a barra da Armona foi responsável por trocas de quantidades importantes através de importação e exportação.

Para a maré viva de outono, a contribuição do volume de água trocado nesta barra foi ca. de 30%, conforme se pode ver na Tabela 4.1, o que foi acompanhado de forma similar pelos outros compostos. A grande diferença diz respeito aos nitratos, fosfatos e silicatos, cuja contribuição não ultrapassou os 15%, mostrando que a barra de Faro-Olhão é substancialmente mais importante para a troca destes nutrientes.

É de salientar as diferenças na quantidade de clorofila *a*, que nesta altura do ano foi bastante mais baixa do que na primavera, devido ao “bloom” que se observou antes da campanha (Figura 3.4 g).

**Tabela 4.1** - Valores de importação e exportação de água (m<sup>3</sup>), Clorofila *a* (kg), Sólidos em Suspensão (toneladas), Amónia, Nitratos, Fosfato e Sílica (kg) para as barras de Ancão (Ban), Faro-Olhão (BF-O) e Armona (BAr), numa situação de maré viva de outono de 2011. %BA percentagem de importação e exportação da barra de Armona em relação ao total transportado. Fonte: (Cravo *et al.*, 2014; Cravo e Jacob, 2019; Jacob e Cravo, 2019\*; Rosa *et al.*, 2019(BF-O); Rosa, 2016(BF-O); Cravo, dados não publicados(°)).

Barras	BAr	BF-O	BAn	%BAr
<b>Importação</b>				
Água* (m <sup>3</sup> )	3,18×10 <sup>7</sup>	7,18×10 <sup>7</sup>	4,04×10 <sup>6</sup>	30
Chl <i>a</i> (kg)	5	23	1	17
SS (t)	182	331	27(°)	34
NH <sub>4</sub> (kg)	186	507	5(°)	26
NO <sub>3</sub> (kg)	145	6127	18	2
PO <sub>4</sub> (kg)	58	810	8	7
SiO <sub>4</sub> (kg)	1336	9212	144	12
<b>Exportação</b>				
Água* (m <sup>3</sup> )	3,01×10 <sup>7</sup>	7,04×10 <sup>7</sup>	2,95×10 <sup>6</sup>	29
Chl <i>a</i> (kg)	6	19	0,3	24
SS (t)	129	541	19(°)	19
NH <sub>4</sub> (kg)	201	760	29(°)	20
NO <sub>3</sub> (kg)	145	4838	50	3
PO <sub>4</sub> (kg)	61	717	11	8
SiO <sub>4</sub> (kg)	1302	8841	215	13

Na maré morta de outono (Tabela 4.2), na barra da Armona verificou-se um aumento da contribuição na troca de água relativamente às outras duas barras. A contribuição em enchente foi de 40% enquanto em vazante foi de 29%. Mais uma vez, os compostos cuja percentagem foi inferior a 15% foram os nitratos, fosfatos e silicatos, evidenciando a contribuição mais relevante para estes nutrientes na barra Faro-Olhão. É de salientar a grande diferença na quantidade de matéria trocada, muito maior na maré viva de outono, o que se poderá dever à diferença do volume de água trocada.

**Tabela 4.2** - Valores de importação e exportação de água (m<sup>3</sup>), Clorofila *a* (kg), Sólidos em Suspensão (toneladas), Amônia, Nitratos, Fosfato e Sílica (kg) para as barras de Ancão (Ban), Faro-Olhão (BF-O) e Armona (BAr), numa situação de maré morta de outono de 2011. %BA percentagem de importação e exportação da barra de Armona em relação ao total transportado. Fonte: (Cravo *et al.*, 2014; Cravo e Jacob, 2019; Jacob e Cravo, 2019\*; Rosa, 2016(BF-O); Cravo, dados não publicados(°))

Barras	BAr	BF-O	BAn	%Bar
<b>Importação</b>				
Água* (m <sup>3</sup> )	2,22×10 <sup>7</sup>	3,05×10 <sup>7</sup>	2,16×10 <sup>6</sup>	40
Chl <i>a</i> (kg)	4	7	0,3(°)	35
SS (t)	68	331	10(°)	17
NH4 (kg)	72	281	4(°)	20
NO3 (kg)	124	372	11(°)	24
PO4 (kg)	59	165	9(°)	25
SiO4 (kg)	463	2324	47(°)	20
<b>Exportação</b>				
Água* (m <sup>3</sup> )	1,60×10 <sup>7</sup>	3,08×10 <sup>7</sup>	2,44×10 <sup>6</sup>	32
Chl <i>a</i> (kg)	3	4	1(°)	38
SS (t)	66	541	11(°)	11
NH4 (kg)	251	379	24(°)	38
NO3 (kg)	219	328	46(°)	32
PO4 (kg)	135	143	16(°)	46
SiO4 (kg)	996	2392	109(°)	28

Na situação de maré viva de primavera de 2012, a barra da Armona apresentou, valores semelhantes aos que se tinham registado na maré viva de outono (Tabela 4.1) em relação ao volume de água trocado (28%; Tabela 4.3), com um carácter de barra de enchente.



**Tabela 4.3** - Valores de importação e exportação de água (m<sup>3</sup>), Clorofila *a* (kg), Sólidos em Suspensão (toneladas), Amônia, Nitratos, Fosfato e Sílica (kg) para as barras de Ancão (Ban), Faro-Olhão (BF-O) e Armona (BAr), numa situação de maré viva de primavera de 2012. %BA percentagem de importação e exportação da barra de Armona em relação ao total transportado. Fonte: (Cravo e Jacob, 2019; Jacob e Cravo, 2019\*);).

Barras	BAr	BF-O	BAn	%BAr
<b>Importação</b>				
Água* (m <sup>3</sup> )	2,74×10 <sup>7</sup>	6,60×10 <sup>7</sup>	3,59×10 <sup>6</sup>	28
Chl <i>a</i> (kg)	21	72	2	22
SS (t)	56	114	28	28
NH <sub>4</sub> (kg)	247	19	29	84
NO <sub>3</sub> (kg)	84	1440	19	5
PO <sub>4</sub> (kg)	123	247	25	31
SiO <sub>4</sub> (kg)	473	1900	177	19
<b>Exportação</b>				
Água*(m <sup>3</sup> )	2,62×10 <sup>7</sup>	6,15×10 <sup>7</sup>	5,16×10 <sup>6</sup>	28
Chl <i>a</i> (kg)	16	46	3	25
SS (t)	68	250	30	20
NH <sub>4</sub> (kg)	254	574	24	30
NO <sub>3</sub> (kg)	45	872	21	5
PO <sub>4</sub> (kg)	100	401	33	29
SiO <sub>4</sub> (kg)	238	1730	294	11

Anteriormente às campanhas de primavera, a influência do afloramento costeiro e o desenvolvimento do “bloom” primaveril foram notórios, mas ainda assim a barra da Armona mesmo com caráter de enchente, globalmente exportou sólidos em suspensão e amônia, fertilizando a zona costeira adjacente. No entanto, por ter ocorrido uma importação de água, foi registada a mesma tendência para silicatos, fosfatos e nitratos bem como para a clorofila *a*. Esta importação de nutrientes pode dever-se ao fato do fitoplâncton que se desenvolveu ter consumido nutrientes no interior da Ria, o que contribuiu para que as concentrações fossem inferiores às do oceano adjacente. Neste caso foi o oceano que fertilizou a Ria Formosa em nitratos, fosfatos e silicatos. Avaliando a contribuição da barra da Armona relativamente às outras duas, pode-se ver que nesta situação de maré e altura do ano, esta barra trocou *ca.* de 30% de água. Houve um aumento da contribuição dos três nutrientes referidos anteriormente, mais evidente no caso dos fosfatos, que atingiu *ca.* de 30%. Relativamente à amônia, em enchente houve um grande aumento da sua contribuição (84%), o que demonstra que houve uma fertilização desta barra por esse composto a partir do oceano adjacente.

Na primavera em maré morta (Tabela 4.4), tal como para a mesma situação no outono, houve um aumento ligeiro da contribuição da água trocada através desta barra para *ca.* 33%, mas o maior aumento foi dos restantes compostos. Os sólidos em suspensão, a clorofila *a* e os nitratos chegaram a atingir valores próximos dos 50%, nunca visto nas restantes campanhas. Assim, parece que esta barra foi a mais importante na importação destes compostos, o que é revelador de uma fertilização, a partir do oceano para a Ria Formosa. É de salientar que nesta condição de maré só a amónia foi globalmente exportada. O transporte dos nitratos foi mais baixo nesta altura do ano, devido a um consumo mais efetivo por parte do fitoplâncton, que foi máximo nesta campanha, como referido anteriormente (Figura 3.4 g) e Figura 3.10) e também confirmado na mesma altura na barra do Ancão (Cravo *et al.*, 2014) e na barra de Faro-Olhão (Rosa *et al.*, 2019; Rosa, 2016).

**Tabela 4.4** - Valores de importação e exportação de água (m<sup>3</sup>), Clorofila *a* (kg), Sólidos em Suspensão (toneladas), Amónia, Nitratos, Fosfato e Sílica (kg) para as barras de Ancão (BA), Faro-Olhão (BF-O) e Armona (BAr), numa situação de maré morta de primavera de 2012. %BA percentagem de importação e exportação da barra de Armona em relação ao total transportado. Fonte: (Cravo *et al.*, 2014; Cravo e Jacob, 2019; Jacob e Cravo, 2019\*; Rosa, 2016 (BF-O); Cravo, dados não publicados<sup>(o)</sup>)

Barras	BAr	BF-O	BA	%BAr
<b>Importação</b>				
Água* (m <sup>3</sup> )	2,22×10 <sup>7</sup>	3,94×10 <sup>7</sup>	2,59×10 <sup>6</sup>	34
Chl <i>a</i> (kg)	34	32	2 <sup>(o)</sup>	50
SS (t)	140	136	15 <sup>(o)</sup>	48
NH <sub>4</sub> (kg)	77	325	6 <sup>(o)</sup>	19
NO <sub>3</sub> (kg)	50	48	2 <sup>(o)</sup>	50
PO <sub>4</sub> (kg)	116	652	14 <sup>(o)</sup>	15
SiO <sub>4</sub> (kg)	339	2006	74 <sup>(o)</sup>	14
<b>Exportação</b>				
Água* (m <sup>3</sup> )	1,60×10 <sup>7</sup>	3,21×10 <sup>7</sup>	2,46×10 <sup>6</sup>	32
Chl <i>a</i> (kg)	27	20	2 <sup>(o)</sup>	55
SS (t)	106	108	16 <sup>(o)</sup>	46
NH <sub>4</sub> (kg)	123	340	20 <sup>(o)</sup>	25
NO <sub>3</sub> (kg)	7	122	6 <sup>(o)</sup>	5
PO <sub>4</sub> (kg)	85	644	13 <sup>(o)</sup>	11
SiO <sub>4</sub> (kg)	218	1712	86 <sup>(o)</sup>	11

Não se conhecem mais trabalhos realizados na Ria Formosa com esta abordagem. No que diz respeito a uma comparação com outros sistemas lagunares também não é fácil, pois o regime e o tipo de marés podem não ser semelhante, tal como a área da secção reta das barras (profundidade e largura) e/ou a velocidade das correntes pode ser bastante diferente o que dificulta uma comparação direta.

## Capítulo 5 -Conclusão

Este estudo ajudou a compreender o comportamento da Barra da Armona, em termos de variação das características da água ao longo de ciclos completos de maré semi-diurna, em maré viva e maré morta, nas estações do ano mais produtivas, no outono de 2011 e na primavera de 2012. De forma a perceber a contribuição desta barra em termos de troca de matéria (água, nutrientes, clorofila *a* e sólidos em suspensão) com o oceano adjacente, foram ainda quantificados os transportes destes compostos para as quatro campanhas realizadas e comparados com os medidos contemporaneamente nas outras duas barras do setor oeste (barras de Faro-Olhão e Ancão).

Os dados mostraram que variabilidade dos resultados da caracterização da água não depende somente de variabilidade da altura da maré e das estações do ano, processos de entrada de matéria associada a períodos de precipitação e escoamento superficial, processos internos de interação sedimento-água e biológicos, mas também de processos externos, como o forçamento físico do vento e dos processos oceanográficos de mesoescala como confirmado pelas imagens de satélite de SST e clorofila *a*. Na última campanha de primavera a influência do afloramento costeiro foi evidente, com reflexo notório na variabilidade da concentração dos nutrientes, que atingiu valores mínimos enquanto a clorofila *a* as concentrações máxima e conseqüentemente na estimativa dos transportes destes compostos.

Quanto ao efeito das condições de maré, a variação das características da água foi mais evidente em maré viva do que em maré morta, pelo maior volume de água trocado em cada ciclo de maré. Contudo, a maior atividade fitoplanctónica refletida no parâmetro clorofila *a*, foi mais evidente em maré morta, o que está associado ao maior tempo de residência e a condições dinâmicas menos intensas, permitindo um consumo mais eficaz dos nutrientes.

Comparando os resultados deste estudo com dados contemporâneos, obtidos nas restantes barras do setor Oeste da Ria Formosa, entre 2011 e 2013, os valores dos parâmetros analisados foram semelhantes aos das outras duas barras, porque se trata de três barras com características semelhantes, em permanente ligação com o oceano adjacente. Em relação a dados dos anos 80, pode inferir-se que a qualidade da água tem vindo a melhorar na barra da Armona e na Ria Formosa em geral. No que diz respeito a

outros sistemas lagunares onde a pressão antropogénica é maior e/ou a renovação menor, pode afirmar-se que a qualidade da água é inferior à encontrada na barra da Armona.

Quanto ao transporte de massa, quer para água quer para os outros parâmetros analisados foi maior nas marés vivas e menor nas marés mortas, como seria de esperar, uma vez que o volume de água trocado é substancialmente maior em maré viva. Contudo, verificou-se que o prisma residual de maré foi superior em maré morta.

A barra da Armona comportou-se como uma barra de enchente no que respeita ao prisma de maré, exceto na maré morta de outono. Relativamente aos outros compostos analisados, os transportes residuais nem sempre foram no mesmo sentido da água.

Quanto à magnitude dessas trocas de massa nas três barras do setor oeste a sequência foi: barra de Faro-Olhão > barra da Armona > barra do Ancão, de acordo com a diferença de volumes de água trocados em cada ciclo de maré. A forte interconectividade entre as três barras a nível de circulação faz com que o comportamento das mesmas a nível de balanços de massa não seja consistente entre elas e que temporalmente face a alterações hidrodinâmicas a magnitude e direção das trocas seja variável.

A contribuição da barra da Armona para o prisma de maré correspondeu a cerca de 30%-40% do total no setor oeste da Ria Formosa, com a contribuição máxima em maré morta. Para os restantes parâmetros, esta barra teve um papel importante na importação, mais notório depois de eventos de afloramento. Nesta situação, a barra da Armona importou a partir do oceano adjacente quantidades importantes de nutrientes e clorofila *a*, que contribuíram para a fertilização da Ria Formosa. Ainda assim, nas campanhas de primavera foram exportadas quantidades relevantes de amónia (consistentemente exportada) e de sólidos em suspensão que, por sua vez, fertilizaram a zona costeira adjacente mostrando a sua importância para a produtividade biológica quer da Ria Formosa quer do oceano costeiro.

## Referências Bibliográficas

- Alcântara, P., Cravo, A., Jacob, J., 2012. Variability of nutrients and chlorophyll a in Ancão Inlet during a spring tidal cycle in April 2009, in: *Ciencias Marinas*. pp. 161–176.
- Anthony, A., Atwood, J., August, P., Byron, C., Cobb, S., Foster, C., 2009. Coastal Lagoons and Climate Change : Ecological and Social Ramifications in U . S . Atlantic and Gulf Coast Ecosystems. *Ecology and Society* 14, 29.
- Barbosa, A., 2010. Seasonal and Interannual Variability of Plancktonic Microbes in a Mesotidal Coastal Lagoon (Ria Formosa, SE Portugal), in: Kennish, M., Paerl, H. (Eds.), *Coastal Lagoons: Critical Habitats of Environmental Change*, Marine Science. CRC Press, pp. 337–370. <https://doi.org/10.1201/EBK1420088304>
- Barnes, R.S.K., 1980. *Coastal Lagoons*. Cambridge Univ., New York.
- Bidet, J.C., Carruesco, C., 1982. Etude sidimentologique de la lagune de Oualidia (Maroc), in: Lassefe, P., Postma, H. (Eds.), *Symposium Coastal Lagoons*. Bordeaux, pp. 29–38.
- Conesa, H.M., Jiménez-Cárceles, F.J., 2007. The Mar Menor lagoon (SE Spain): A singular natural ecosystem threatened by human activities. *Marine Pollution Bulletin* 54, 839–849. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2007.05.007>
- Cravo, A., Cardeira, S., Pereira, C., Rosa, M., Alcântara, P., Madureira, M., Rita, F., Correia, C., Rosa, A., Jacob, J., 2019. Nutrients and chlorophyll- a exchanges through an inlet of the Ria Formosa Lagoon , SW Iberia during the productive season – Unravelling the role of the driving forces. *Journal of Sea Research* 144, 133–141. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2018.12.001>
- Cravo, A., Cardeira, S., Pereira, C., Rosa, M., Alcântara, P., Madureira, M., Rita, F., Luis, J., Jacob, J., 2014. Exchanges of nutrients and chlorophyll a through two inlets of Ria Formosa, South of Portugal, during coastal upwelling events. *Journal of Sea Research* 93, 63–74. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2014.04.004>
- Cravo, A., Cardeira, S., Pereira, C., Rosa, M., Madureira, M., Rita, F., Luís, J., Jacob, J., 2013. Nutrients and particulate matter exchanges through the Ria Formosa coastal lagoon, Portugal. *Journal of Coastal Research* 165, 1999–2004.

<https://doi.org/10.2112/SI65-338.1>

- Cravo, A., Jacob, J., 2019. Role of the Ria Formosa inlets on the physical, chemical and biological exchanges with the adjoining ocean., in: Aníbal, J., Gomes, A., Mendes, I., Moura, D. (Eds.), RIA FORMOSA. Challenges of a Coastal Lagoon in a Changing Environment. Faro, pp. 29–46.
- Cravo, A., Jacob, J., Carneira, S., Rosa, M., Madureira, M., Rita, F., Luis, J., 2012. Mass exchanges between the Ria Formosa lagoon and the adjacent ocean through the Faro-Olhão inlet during a neap tide in autumn conditions, in: 2<sup>3</sup>s Jornadas de Engenharia Hidrográfica. Lisboa, pp. 257–260.
- Dias, J.M., Sousa, M.C., 2009. Numerical modeling of Ria Formosa tidal dynamics. *Journal of Coastal Research* 56, 1345–1349.
- Duarte, P., Azevedo, B., Guerreiro, M., Ribeiro, C., Bandeira, R., Pereira, A., Falcão, M., Serpa, D., Reia, J., 2008. Biogeochemical modelling of Ria Formosa (South Portugal). *Hydrobiologia* 611, 115–132. <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9464-3>
- Duarte, P., Guerreiro, M.J., Reia, J., Fonseca, L.C., Pereira, A., Azevedo, B., Falcão, M., Serpa, D., 2007. Coastal zones management: application to Ria Formosa (South of Portugal). *Revista Ciência Agronômica* 38, 118–128.
- Esaguy, A.C., 1984. Ria de Faro, Barra de Armona, Evolução 1873 - 1983. Relatório interno da Direcção Geral dos Portos.
- Fabião, J., Rodrigues, M., Jacob, J., Cravo, A., Carneira, S., Fortunato, A., Azevedo, A., Bruneau, N., 2014. A Influência Dos Forçamentos Na Circulação E No Transporte Na Ria Formosa, in: 12<sup>o</sup> Congresso Da Água. Lisboa, pp. 1–15.
- Falcão, M., 1997. DINÂMICA DO AZOTO, FÓSFORO E SÍLICA NA RIA FORMOSA: efeitos da interacção da laguna com as suas interfaces na reciclagem destes compostos.
- FitzGerald, D.M., 1996. Geomorphic Variability and Morphologic and Sedimentologic Controls on Tidal Inlets. *Journal of Coastal Research* 47–71. <https://doi.org/10.2307/25736068>
- FitzGerald, D.M., 1988. Shoreline Erosional-Depositional Processes Associated with

- Tidal Inlets, in: *Hydrodynamics and Sediment Dynamics of Tidal Inlets*. Springer New York, New York, NY, pp. 186–225. [https://doi.org/10.1007/978-1-4757-4057-8\\_11](https://doi.org/10.1007/978-1-4757-4057-8_11)
- Flindt, M.R., Ângelo, M., Isabel, A., Martins, I., 1999. Nutrient cycling and plant dynamics in estuaries : A brief review 20, 237–248.
- Gari, S.R., Newton, A., Icely, J., Lowe, C.D., 2014. Testing the application of the systems approach framework (SAF) for the management of eutrophication in the Ria Formosa. *Marine Policy* 43, 40–45.
- Grasshoff, K., Erkhart, M., Kremling, K., 1983. *Methods of Sea Water Analysis*. Verlag Chemie, New York, NY.
- IPCC, 2014. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field et al. (eds.)]*, Cambridge University Press.
- IPCC, 2013. *CLIMATE CHANGE 2013. The Physical Science Basis*.
- Jacob, J., Cardeira, S., Rodrigues, M., Bruneau, N., Azevedo, A., Fortunato, A., 2012. Contribuição para o estudo da propagação da maré no setor oeste da Ria Formosa, in: *2<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica*. pp. 185–188.
- Jacob, J., Cardeira, S., Rodrigues, M., Bruneau, N., Azevedo, A., Fortunato, A.B., Rosa, M., Cravo, A., 2013. Experimental and numerical study of the hydrodynamics of the western sector of Ria Formosa. *Journal of Coastal Research* 165, 2011–2016. <https://doi.org/10.2112/SI65-340.1>
- Jacob, J., Cravo, A., 2019. Recent evolution of the tidal prisms at the inlets of the western sector of the Ria Formosa , south coast of Portugal. *Regional Studies in Marine Science* 31, 9. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2019.100767>
- Jacob, J., Cravo, A., 2016. Evolution of the tidal prisms at the inlets of the western sector of Ria Formosa before the relocation of the Ancão inlet in November 2015, in: *4<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica*. Instituto Hidrográfico, Lisboa, pp. 207–210.
- Joos, F., Plattner, G.-K., Stocker, T.F., Körtzinger, A., Wallace, D.W.R., 2003. Trends in marine dissolved oxygen: Implications for ocean circulation changes and the carbon



- budget. *Eos, Transactions American Geophysical Union* 84, 197.  
<https://doi.org/10.1029/2003EO210001>
- Kjerfve, B., 1994. *Coastal Lagoons*. Elsevier Science Publishers 60, 1–8.
- Kjerfve, B., Magill, K., 1989. Geographic and hydrodynamic characteristics of shallow coastal lagoons. *Marine Geology* 88, 187–199. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(89\)90097-2](https://doi.org/10.1016/0025-3227(89)90097-2)
- Lloret, J., Marín, A., Marín-Guirao, L., 2008. Is coastal lagoon eutrophication likely to be aggravated by global climate change? *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 78, 403–412. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2008.01.003>
- Lopes, C.B., Lillebø, A.I., Dias, J.M., Pereira, E., Vale, C., Duarte, A.C., 2007. Nutrient dynamics and seasonal succession of phytoplankton assemblages in a Southern European Estuary: Ria de Aveiro, Portugal 71. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2006.09.015>
- Lopes, C.B., Pereira, M.E., Vale, C., Lillebø, I., Pardal, M.Â., Duarte, A.C., 2007. Assessment of spatial environmental quality status in Ria de Aveiro (Portugal) 71, 293–304.
- Lorenzen, C.J., 1967. Determination of chlorophyll and pheopigments: Spectrophotometric equations. *Limnology and Oceanography* 12, 343–346. <https://doi.org/10.4319/lo.1967.12.2.0343>
- Mackenzie, B.R., Gislason, H., Möllmann, C., Köster, F.W., 2007. Impact of 21st century climate change on the Baltic Sea fish community and fisheries. *Global Change Biology* 13, 1348–1367. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01369.x>
- Martin, L., Dominguez, J., 1994. Geological history of coastal lagoons, in: *Coastal Lagoon Processes*. Amsterdam, pp. 41–68.
- Mee, I., 1978. Coastal lagoons, in: Riley, J.P., Chester, R. (Eds.), *Chemical Oceanography*. New York, NY, pp. 7441–7490.
- Newton, A., 1995. The water quality of the Ria Formosa lagoon, Portugal. University of Wales, Bangor.
- Newton, A., Brito, A.C., Icely, J.D., Derolez, V., Clara, I., Angus, S., Schernewski, G.,

- Inácio, M., Lillebø, A.I., Sousa, A.I., Béjaoui, B., Solidoro, C., Tomic, M., Cañedo-Argüelles, M., Yamamuro, M., Reizopoulou, S., Tseng, H.-C., Donata, C., Roselli, L., Maanan, M., Cristina, S., Ruiz-Fernández, A.C., Lima, R., Kjerfve, B., Rubio-Cisneros, N., Pérez-Ruzafa, A., Marcos, C., Pastres, R., Pranovi, F., Snoussi, M., Turpie, J., Tuchkovenko, Y., Dyack, B., Brookes, J., Povilanskas, R., Khokhlov, V., 2018. Assessing, quantifying and valuing the ecosystem services of coastal lagoons. *Journal for Nature Conservation* 32. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2018.02.009>
- Newton, A., Mudge, S.M., 2003. Temperature and salinity regimes in a shallow, mesotidal lagoon, the Ria Formosa, Portugal. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 57, 73–85. [https://doi.org/10.1016/S0272-7714\(02\)00332-3](https://doi.org/10.1016/S0272-7714(02)00332-3)
- Ovelheiro, A., 2015. Variabilidade temporal ( interanual e mareal ) das trocas de nutrientes e matéria particulada , pela Barra Faro-Olhão e canais adjacentes no ecossistema da Ria Formosa. Universidade do Algarve. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2998.9523>
- Pacheco, A.M.D., 2010. Hydrodynamic and Sediment Fluxes through the Inlets of the Ria Formosa Hydrodynamic and Sediment Fluxes through the Inlets of the Ria Formosa. Universidade do Algarve.
- Paerl, H.W., Valdes, L.M., Peierls, B.L., Adolf, J.E., Lawrence, W., Paerl, H.W., Valdes, L.M., Peierls, B.L., Adolf, J.E., Harding, L.W., 2006. Anthropogenic and climatic influences on the eutrophication of large estuarine ecosystems. *ASLO, Limnology and Oceanography* 51, 448–462.
- Parlamento Europeu e do Conselho, 2000. Directiva 2000/60/CE. *Journal Oficial Das Comunidades Europeias* (7), 72.
- Pilkey, O.H., Neal, W.J., Monteiro, J.H., Dias, J.M.A., 1989. Algarve barrier islands: a noncoastal-plain system in Portugal. *Journal of Coastal Research* 5, 239–261. <https://doi.org/10.2307/4297527>
- Politi, E., Groom, S., 2017. Lagoons for Life DATABASE.
- Portela, L., 2012. Evolução morfológica recente da zona lagunar da Ria Formosa, in: 2<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica. pp. 291–294.
- Rosa, A., Cardeira, S., Pereira, C., Rosa, M., Madureira, M., Rita, F., Jacob, J., Cravo,

- A., 2019. Temporal variability of the mass exchanges between the main inlet of Ria Formosa lagoon ( southwestern Iberia ) and the Atlantic Ocean. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 228, 106349. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106349>
- Rosa, A.I.M., 2016. Estudo da variabilidade intra e inter-anual das trocas entre a Ria Formosa e o oceano - estudo de caso, a barra de Faro-Olhão. Universidade do Algarve.
- Salles, P., 2001. Hydrodynamic controls on multiple tidal inlet persistence. Massachusetts Institute of Technology and Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, MA. <https://doi.org/10.1575/1912/3042>
- Salles, P., Voulgaris, G., Aubrey, D.G., 2005. Contribution of nonlinear mechanisms in the persistence of multiple tidal inlet systems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 65, 475–491. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2005.06.018>
- Santos-Echeandía, J., Belando, M.D., Álvarez-Rogel, J., Tercero, C., Otero-Perez, X., Bernardeau-Esteller, J., García-Muñoz, R., Ramos, A., Ruiz, J.M., 2019. AN EXTREME EUTROPHICATION EVENT IN A SPANISH COASTAL LAGOON (MAR MENOR, SE SPAIN): THE ROLE OF BENTHIC FLUXES, in: XV INTERNATIONAL ESTUARINE BIOGEOCHEMISTRY SYMPOSIUM. pp. 42–43.
- Smith, 2001. Seasonal-scale Transport Patterns in a Multi-inlet Coastal Lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 52, 15–28. <https://doi.org/10.1006/ecss.2000.0717>
- Smith, 1990a. Computer simulation of tide-induced residual transport in a coastal lagoon. *Journal of Geophysical Research* 95.
- Smith, 1990b. Wind domination of residual tidal transport in a coastal lagoon. In *Coastal and Estuarine Studies*. Springer-Verlag 38, 123–133.
- União Europeia, 2008. Diretiva 2008/56/CE. *Journal Oficial Das Comunidades Europeias*.
- Vale, C., Falcão, M., 2003. Dinâmica de nutrientes en una laguna costera ( Ría Formosa, Portugal ): La importancia del intercambio de agua. *Ciencias Marinas* 29, 425–433.
- Weinholtz, M.B., 1964. Contribuicao para o estudo da evolução das flechas de areia na

Costa Sotavento do Algarve, Ria de Faro. Direcção Geral de Portos 14–46.

Zaldívar, J., Cardoso, A.C., Viaroli, P., Wit, R. De, Ibañez, C., Reizopoulou, S., Razinkovas, A., Basset, A., Holmer, M., Murray, N., 2008. Eutrophication in transitional waters : an overview 1, 1–78. <https://doi.org/10.1285/i18252273v2n1p1>

Zhang, K.Q., Douglas, B.C., Leatherman, S.P., 2004. Global warming and coastal erosion. *Climatic Change* 64, 41–58. <https://doi.org/10.1023/b:clim.0000024690.32682.48>